

データの類似性に注目した生活密着型センサアプリケーション開発手法

佐々木 弘[†] 坂根 裕^{††}
太田 剛^{††} 水野 忠則^{††}

これまで筆者らは、センサを用いたアプリケーション開発を容易にするためのシステム「SATSUKI」の開発を進めてきた。本稿では、SATSUKI を拡張し、ユーザの行動や環境に関する事前のモデル構築を必要とせずに、ユーザの行動や環境の変化を判断する機能を実現するため、センサの時系列データの履歴から類似検索を行い、現状のデータと比較、マッチングするという手法を提案した。

学内の廊下において人の通過の向きや、部屋から部屋への移動といったイベント判断を行う実験を行ったところ、センサ反応のタイミング情報を付加することや、判断の邪魔になるイベントの排除を行うことにより、イベント判断精度が向上するという結果が得られた。この結果により、モデル構築を必要としないイベント判断の手法に対する見通しが得られた。

A Method of Lifestyle-oriented Sensor Applications Development Using Similarity Retrieval of Sensor Information

HIROSHI SASAKI,[†] YUTAKA SAKANE,^{††} TSUYOSHI OHTA^{††}
and TADANORI MIZUNO^{††}

We have been developing a sensor application development system 'SATSUKI'. In this paper, we suggest a method to recognize user activity or environmental change without using detailed models. The system can extract proper events by comparing received sensor information with stored data in the database. We experimented in recognizing user activity with the system. As a result of the experiment, the accuracy of event estimation is increased by considering timing of sensor data occurring and excluding of trash data. Therefore we got a forecast of implementation user activity recognize system without building a model of realworld.

1. はじめに

最近のコピキタス、ウェアラブルコンピューティングに関する研究の主要テーマは、機器操作のためのインタフェース研究、機器接続のためのネットワーク研究、デバイス開発等の要素技術の研究から、環境を含めた人間活動のサポート全体を見据えた研究に移行しつつある^{1)~4)}。このような研究では、環境や人体に装着したセンサからデータを収集し、データの意味を考慮することで、対象となる人間活動をモデル化することや、蓄積したデータを解析しサービスとして実世界にフィードバックすることが中心となる。

筆者らはこれまでに、環境や人体に設置した種々のセンサやアクチュエータを組み合わせ、手軽に必要なアプリケーションが作成できる環境として、SATSUKI⁵⁾を提案した。SATSUKIを利用することで、アプリケーション開発者は、センサドライバの記述やネットワークを介したセンサ制御、複数センサの連携といった敷居の高い技術に時間を浪費することなく、アプリケーションロジックの設計に集中できるようになった。しかし、環境の変化をシステムが自動的に判断

し、直接フィードバックするような細やかなサポートを行うサービスを実現するには、実世界で行われている環境の変化や人間の行動を理解できるモデル構築が鍵となるが、ユーザー一人一人の生活や環境には違いがあるため、実際に現実生活のモデルを構築することは時間的、技術的にコストがかかり過ぎるという問題がある。

そこで本研究では、細やかなサポート実現のための現実的な手法として、現実世界のモデル構築を行う代わりに、蓄積したデータを学習データとして用いることで、「ほどほど」に細やかなイベント抽出機能を実現するという方針を取る。このことにより、アプリケーション開発者の「現実世界モデルの構築コストを排除」し、「実装したアプリケーションの機能拡充」を狙う。環境にセンサを設置し、それらのセンサを利用したアプリケーションを実装した状態で、本システムの学習段階では、カメラやマイクから得られる実世界でのイベントと、センサデータ系列に対し、手動でイベント名を関連付け、蓄積する。そして運用段階では、現状のデータを蓄積したデータから類似検索することで、センサの時系列データに対して適切なイベントを類推する。本稿では、センサの時系列データからイベントを推測するための方法と、大学構内で行った実験について報告する。

2. 生活密着型センサアプリケーション

生活密着型センサアプリケーション開発環境のコンセプト

[†] 静岡大学大学院 情報学研究所

Graduate School of Information, Shizuoka University

^{††} 静岡大学 情報学部

Faculty of Information, Shizuoka University

普段の生活環境において、身近なサービスを構築したい

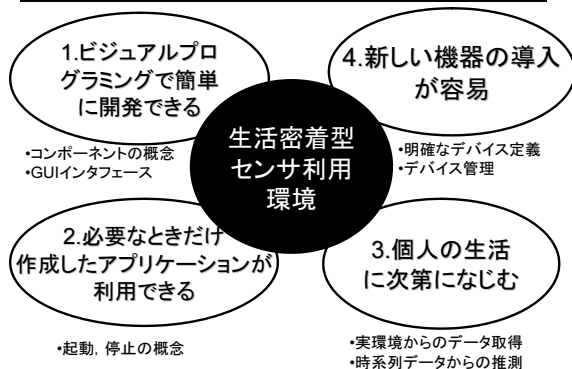


図 1 生活密着型センサアプリケーション開発環境のコンセプト

は、おおきく 4 本の柱で成り立っている。生活密着型センサアプリケーション開発環境のコンセプトを図 1 に示し、以下にそれぞれの柱について説明する。

1. ビジュアルプログラミングで簡単に開発できる

センサアプリケーション開発において、通常であればユーザはセンサのドライバレベルの実装や、ネットワークの複雑な内部処理を記述しなければならない。生活密着型の開発環境では、こうした高度なプログラミング知識をユーザに要求することはできず、複雑なロジックを記述することなく、直観的にアプリケーションを構築できる仕組みが必要である。つまり「こういう状況ではこういう動作をして欲しい」という要求がストレートに反映されなければならない。

我々はこの要求を実現するためのアプローチとして、GUI インタフェースとコンポーネントプログラミングの概念を用い、複雑な内部処理をユーザに対して隠蔽する方針をとった。

2. 必要なときだけ作成したアプリケーションを利用

生活密着型開発環境では、即時構築、即時利用を目指している。我々が考えるセンサアプリケーションは、思い立った時にすぐ構築、起動し、いらなくなったら破棄するものと、常に起動して日々同じタスクをこなすものの二種類ある。後者のタイプであればアプリケーション構築に多少の時間がかかっても許されるが、前者のタイプの場合はアプリケーション作成に時間を取られている間に不要となってしまうことが考えられる。例をあげれば、「トイレに行っている間にメール受信があったらトイレの電灯の点滅で知らせたい」というアプリケーションは、トイレに行きたくなくなってから作成するものであり、作成に時間をかけるわけにはいかない。

この要求実現のために我々は、細かい制御記述よりも直観的な簡単さを追求する GUI インタフェースを実装するとともに、アプリケーションの起動、停止、セーブ、ロードの仕組みを実装した。

3. 個人の生活に次第になじむ

個人の生活になじむとは、システムを使い続けてゆくうちに、個人にとって使いやすくなってゆくことを言う。

実際にセンサを設置し利用する場合には、どのような状況でどのようなセンサデータが取得できるのか予想できない場合がある。そこで我々は、過去の同じ状況下において取得、保存しておいたデータを用いて現状がどの状態に該当するかの推論を行うことで、「目的の状況と判断されたならば True を出力する」といったコンポーネントを自動的に作成できる

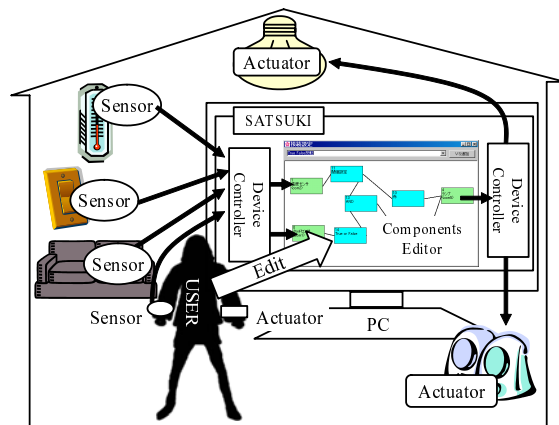


図 2 SATSUKI システム概要

と考えている。状況のデータが蓄積されればされるほど推論の精度が上がり、コンポーネントの種類も増えてゆく。したがって使えば使うほど使いやすくなり、個人の生活になじむと言える。

また我々は、ユーザ本人が頻繁に利用するコンポーネントの組み合わせを、コンポーネント同士の接続を維持したまま保存し、一つのユーザ定義コンポーネントとして登録することで、アプリケーションの再利用性を高める仕組みの実装を進めている。

4. 新しい機器の導入が容易

筆者らは、ユーザ自身が必要に応じて家中にセンサや機器を自由に配置し、自分のアプリケーションに組み込んで使うという環境を想定している。したがって、生活密着型開発環境を実現するためには、新しい機器の導入が簡単であることも肝心である。

3. SATSUKI によるセンサアプリケーション開発

筆者らは前章の 4 つの要求を満たすため、コンポーネントプログラミングの概念を用いた直観的な GUI インタフェース、コンポーネントの自動作成支援システム、専用デバイス定義を備えた SATSUKI というシステムを実装している。

3.1 コンポーネントの組み合わせによるアプリケーション開発

2 章の 1,2 で述べたように、我々はコンポーネントプログラミングの概念を利用した GUI インタフェースを実装している⁵⁾。

SATSUKI のシステム概要を図 2 に示す。SATSUKI はこの図のように、おおまかにデバイス管理部分と、センサデータを処理してアクチュエータを動作させるまでの処理をコンポーネントの接続で記述するためのインタフェースからなりたっている。ユーザは、身の回りに存在する、または身につけたセンサやアクチュエータを、SATSUKI のインタフェース上で結びつけ、その動作を設定することができる。

3.2 コンポーネント作成支援機能

コンポーネント作成支援機能の概要

2 章の 3 で述べたように、我々は生活になじむシステムを作成するため、イベント名とセンサデータ間対応づけデータベースを構築し、それを元に環境の現状を推論するコンポー

ネットの自動生成を行う仕組みの実装を進めている．たとえば廊下に複数取り付けられた人体感知センサの時間的変化を記録した時系列データを保存し、「人が東向きに通過した」というデータを多数蓄積しておけば、のちに同じ状況が発生した場合に以前のデータとの比較ができるので、推論によって「人が東側に通過した場合に True を出力する」といったコンポーネントが作成できる．

本システムでは時系列データとともに、データ取得時における環境の動画データを保存する．ユーザはその動画を見ながら時系列データ一つ一つに「そのとき環境内で何が起こっていたか」のイベント名割り当てを行う．そうして保存したデータを元に類似データ検索を行うことで、SATSUKI は環境の状態を推論し、コンポーネントの自動生成を行う．

このように環境の状態を推論しようとする試みは、コンテキストウェアと呼ばれるが、近年のコンテキストウェアアプリケーション^{6),7)} は、対象物に対する詳細なモデル化を行い、特定環境におけるコンテキストを判断しようとするものが多い．我々が提案する枠組みは、ユーザが目的に応じたアプリケーションを作成するためのものであり、詳細なモデル化を行うことは妥当ではない．そこで提案システムではモデル化を行わず、実環境でおこったイベントの種類を人間が判断し、そのとき取得されたセンサの時系列データにイベント名を手動で割り振る手法を取る．

コンポーネント作成支援機能のアルゴリズム

コンポーネント作成支援機能全体の構成図を図 4 に示す．本システムを利用するユーザは、まずイベント名定義部によって動画、センサデータの取得を行い、それらのデータにイベント名を割り当てる．これらの割り当てデータはイベント-データ間定義データベースに格納され、最終的にイベント判断アルゴリズムによってコンポーネントの作成を行う．

センサデータ取得と、イベント名割り当ての手法については⁸⁾ で述べた．本論文ではイベント判断手法について議論する．

類似データを検索するためのアルゴリズムは、一般的にニューラルネットワークやベイジアンネットワークの手法が用いられる．今回我々は、数あるパターン認識アルゴリズムの中から、Naive Bayesian Classifiers(ナイーブベイズ分類器)の手法を選択した．Naive Bayesian Classifiers は、主に文章の分類に用いられるアルゴリズムで、E-Mail のスパム検出のアルゴリズムとしてよく用いられており、事前情報を与える等といったモデル化を必要とせず、実装も簡単であるため、今回の実装にふさわしいと判断した．

ただし、このままのアルゴリズムでは、あるイベント期間においてどのセンサが反応し、どのセンサが反応しなかったか、という点でしか状況判断ができない．センサデータは、文章データとは異なり、時系列のデータである．そのため、どのセンサが、いつ反応したのかという点まで考慮することでより判断の信頼性が増すと考えられる．

そこで SATSUKI においては、時系列データを Naive Bayes Classifiers に対応させるため、センサデータの時間軸を量子化し、センサと、センサ反応のタイミングを表にしたタイミングテーブルを考える．図 3 にイメージ図を示す．この図では、あるセンサにおける W1 という反応が、T1 というタイミングで反応していることを表す．他に、W2 の反応が T3, W3 という反応が T1, T4, W4 という反応が T2, T4 で現れていることを示している．

そして、タイミングが異なれば違う反応であると判断することで、時系列データを Naive Bayes Classifiers に対応させた．ここでタイミングの区切り幅(タイムスライス)をどれほどに取ればよいのかを考える必要があるが、今回はタイ

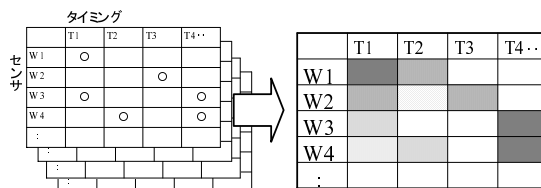


図 3 タイミングテーブルイメージ図

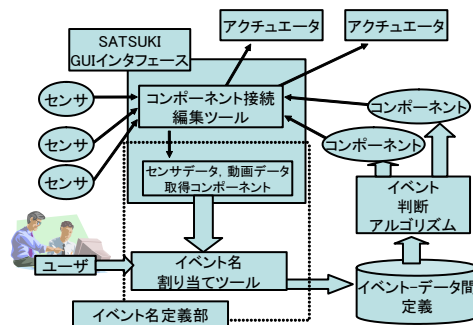


図 4 コンポーネント作成支援機能全体図

ムスライスを様々に変化させ、特徴を観測する実験を行った．

最終的に SATSUKI はこれらのタイミングテーブルを全て足し合わせ、センサ-タイミング間のデータ分布図を作成する．そして、学習データにおけるあるタイミングでのセンサデータ出現頻度と、判断対象のデータとを照らし合わせ、もっともマッチした率の高いイベントを回答として出力する．

4. イベント判断実験

4.1 実験の目的

我々はイベント判断において、タイムスライスをどれほどに取ればよいのか、データ数が増えることで環境になじむ(判断精度が増す)のか、イベント判断を行う際の注意点や問題点は何かを探るためにイベント判断実験を行った．これらの実験は、廊下に人体感知センサを配置し、それらを用いて人の動きを取得するというシナリオで行った．

4.2 実験環境

実験を行うために、研究室付近の廊下(2m x 8m)に6台の人体感知センサを約 1.5m おきに設置し実験環境を構築した．実験環境の配置図を図 5 に示し、詳細な実験環境のデータを表 1 に示す．各センサはセンサデータ集積デバイスに有線で接続されており、センサ集積デバイスは各センサの状態変化を取得し、C 室内の PC に送信する．また USB カメラも C 室内の PC に接続されており、動画のデータが取得できるようになっている．

センサデータと動画を取得するタイミングは、人体感知センサの一つでも ON の状態なら取得を開始し、全てのセンサが OFF の状態に戻ると取得を停止するようにした．

4.3 実験結果

イベント判断実験ではおよそ 4 時間に渡り 120 データを取得し、それら全てに筆者が細かくイベント名割り当てを行った．結果、イベント名は 14 種類作成された．表 2 に、

表 1 実験環境データ

項目	データ
実験に用いた廊下の広さ	幅：約 2m, 長さ：約 8m
センサ間の距離	約 1.5m
用いたセンサ	焦電型赤外線人体感知センサ 6 個
センサデータ集積デバイスに用いたマイコン	PIC16F876
PC スペック	CPU:Pentium4 2.4GHz, メモリ:512M バイト, OS:Windows2000 Professional
USB カメラスペック	Creative WebCam NX Pro(30 万画素)

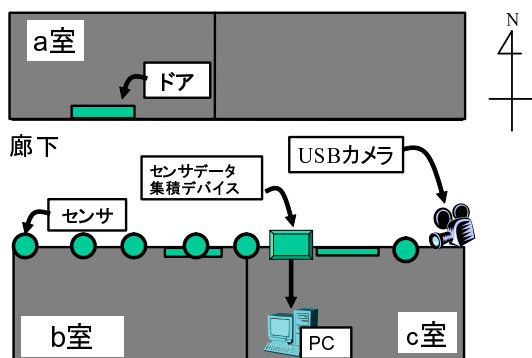


図 5 実験環境

表 2 イベント判断実験におけるイベント名割り当て表

イベント名	データ数
西側へ通過	9 データ
東側へ通過	11 データ
東へ行きかけ	31 データ
b 室から西へ	4 データ
西から b 室へ	3 データ
c 室から西へ	8 データ
西から c 室へ	5 データ
b 室から c 室へ移動	2 データ
b 室から c 室へ移動	1 データ
a 室へ入る	2 データ
a 室から出る	2 データ
二人以上の動作	2 データ
部屋の前で立ち止まる	8 データ
不明	32 データ
合計	120 データ

本実験におけるイベント名割り当て表を示す。

今回の実験環境では、西側 2 つのセンサのみ別種類のセンサを用いたため、反応速度がすばやく、東へ行きかけている途中でデータが途切れているものが多くあった。そのためそのようなデータは「東へ通過」とせず、「東へ行きかけ」という別のイベントとしてカウントした。

また、各イベントごとの取得データの分布を視覚的に表示した図を、図 6 に示す。この表の縦軸は、センサデータの反応を表しており、上から順番に一番西のセンサの ON、一番西のセンサの OFF、西から二番目のセンサの ON、西から二番目のセンサの OFF .. となっている。表の横軸はタイムスライスの順番に並んでいる。この表でのタイムスライス

は、全動作期間を 20 スライスに区切っている。

タイムスライスの変化に伴う正解率への影響

今回の実験では、これらのデータを学習データ、対象データの両方に用い、どれだけの割合のデータが正しいイベントに判断されるかを検証した。また、タイミングテーブルの区切りを、1 スライス (タイミングを考慮しない) から、10000 スライス (動作区間を 10000 区切りにしてタイミングを考慮) まで変化させ、どの程度のタイムスライスが適当なのかを検証した。

その結果のグラフを 7 に示す。

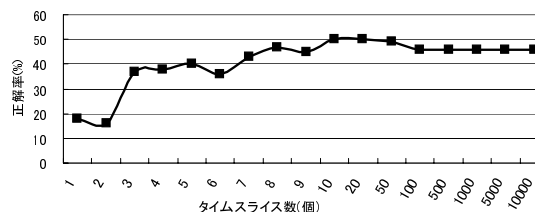


図 7 タイムスライスの変化に伴う正解率への影響

イベント数の変化に伴う正解率への影響

イベント数を減らした場合、正解率にどのような変化が現れるのかを検証するため、判断が難しいと思われる a 室へ入る、a 室から出る、二人以上の動作、部屋の前で立ち止まる、不明の 5 イベントを削除して 9 イベント (データ数 74 個) で同じ実験を行った。また、さらにイベント数を減らし、東側へ通過、西側へ通過の 2 イベント (データ数 20 個) のみにおいても同様の実験を行った。

その結果のグラフを 8 に示す。

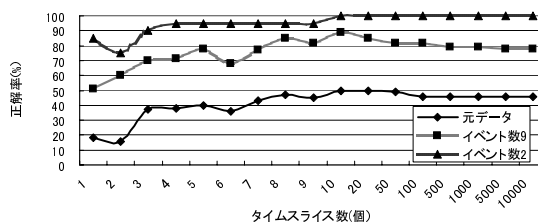


図 8 イベント数の変化に伴う正解率への影響

学習データ数の増減に伴う正解率への影響

学習データのサンプル数の増減が正解率へ及ぼす影響を検証するために、学習データのサンプル数を減らして実験を行った。この実験では、a 室へ入る、a 室から出る、二人以

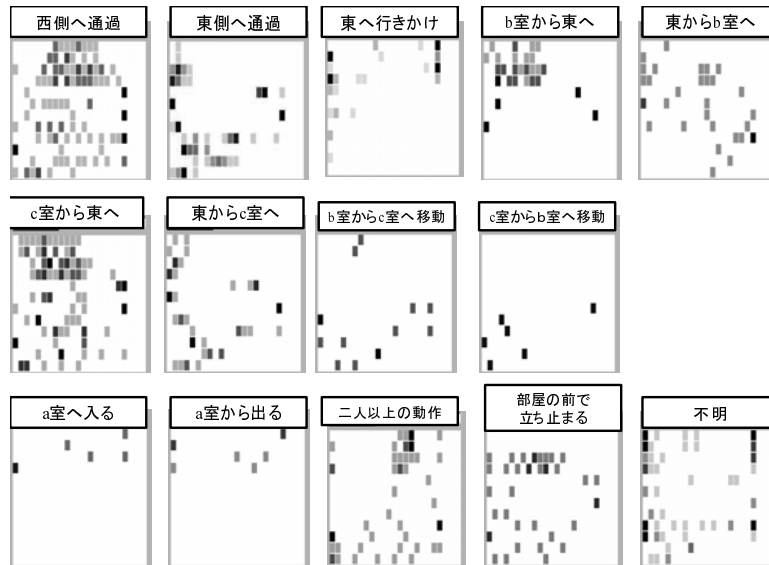


図 6 イベントごとのセンサデータ分布図

上の動作，部屋の前で立ち止まる，不明の 5 イベントを削除した 9 イベントのデータから，前半 2 時間分のデータを削除したもの（データ数 55 個）を学習データとして用いた．なお解析の対象データは前半 2 時間分のデータを含めた全データ（9 イベントのもの）を用いた．

その結果のグラフを 9 に示す．

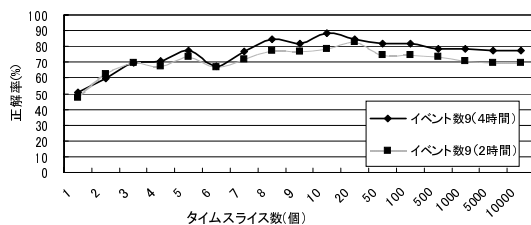


図 9 学習データ数の増減に伴う正解率への影響

5. イベント判断実験の考察

5.1 タイムスライスの変化に伴う正解率への影響に関する考察

図 7 の結果から，正解率は基本的にタイムスライスを増やすことで上昇する傾向にあることがわかった．特に 1 スライスとはタイミングを考慮しない場合であるが，結果よりタイミングを考慮した場合のほうがより高い正解率が得られることがわかった．Naive Bayes Classifiers を用いてセンサの履歴から人間生活の状況を取得しようとする研究⁹⁾は他にもあるが，この研究におけるアルゴリズムでは，タイミングを考慮していない．ただし，この研究での実験では，大きな家中にセンサを取り付けており，実験環境が広い．したがってタイミングよりも「どのセンサが反応したか」が重要となり，そこそこの精度が保たれていた．しかし今回筆者ら

が行った実験のように，同じセンサを用いて複数の状況を判断しようとした場合においては，タイミングの考慮を行う方がよいということがわかった．

基本的にはタイムスライスを多く取ると，精度が増すことがわかったが，多く取りすぎると逆に正解率が減少している．このことよりむやみにタイムスライスを多くするのではなく，イベントの特徴が捉えられるような適度なタイムスライスの値を上手に設定することで正解率を高められる可能性があることがわかった．

また，図からはタイムスライスは 100 スライス程度以上から安定していることが読み取れる．今回の実験では一つの動作が最大でも 20 秒，最小で 0.1 秒程度で，平均的には 10 秒程度であった．したがって 100 スライスとえば 1 スライス 0.1 秒となる．なお，センサの動作間隔の最小値は 0.1 秒程度であった．つまり最小の動作間隔以上にタイムスライスを区切っても正解率には影響しないことがわかった．

5.2 イベント数の変化に伴う正解率への影響に関する考察

図 8 の結果から，イベント数が減少するほど精度が増していることがわかる．精度が増したと言ってもイベント数 14 の場合の正解率の最低線が 1/14(7%) なのに対して，イベント数 9 では 1/9(11%)，イベント数 2 では 1/2(50%) であるため，単純に比較することはできない．しかし 7%から 11%であれば，およそ 1.57 倍であるが，46%から 78%への上昇は 1.69 倍と計算でき，イベント数の減少が正解率に多少の影響は与えていると言える．イベント数の減少が正解率に与えた影響を考察するにあたって，表 3,4 に各イベントごとの正解率の詳細表を示す．

これらの表を見ると，正解率の上昇には「不明」という正解率の低いイベントの削除と，「東へ行きかけ」イベントの正解率の急上昇が影響していると推測される．正解率の低いイベントとしては「西側へ通過」「c室から西へ」「部屋の前で立ち止まる」「不明」「東へ行きかけ」などが目につくが，これらのデータの分布は図 6 を見るとわかるようにセンサ軸，タイミング軸に渡り全体に広がっており，偏りが少

表 3 イベント判断正解率詳細表 (14 イベント)

イベント名	正解データ/全データ数
西側へ通過	2/9 データ
東側へ通過	9/11 データ
東へ行きかけ	6/31 データ
b 室から西へ	4/4 データ
西から b 室へ	3/3 データ
c 室から西へ	4/8 データ
西から c 室へ	3/5 データ
b 室から c 室へ移動	2/2 データ
b 室から c 室へ移動	1/1 データ
a 室へ入る	2/2 データ
a 室から出る	2/2 データ
二人以上の動作	2/2 データ
部屋の前で立ち止まる	4/8 データ
不明	15/32 データ
合計	56/120 データ (46%)

表 4 イベント判断正解率詳細表 (9 イベント)

イベント名	正解データ/全データ数
西側へ通過	2/9 データ
東側へ通過	9/11 データ
東へ行きかけ	31/31 データ
b 室から西へ	4/4 データ
西から b 室へ	3/3 データ
c 室から西へ	1/8 データ
西から c 室へ	5/5 データ
b 室から c 室へ移動	2/2 データ
b 室から c 室へ移動	1/1 データ
合計	58/74 データ (78%)

ない。したがって、データの分布に偏りが見られない場合には正解率が落ちると言える。このことより、データの分布が偏らない場合、ユーザはイベントの定義を変えるか、新たにセンサを増設するなどして対応しなければならないことがわかった。

また「東へ行きかけ」イベントは「a 室に入る」「a 室から出る」の二つのデータに間違えて判断されることが多かったため、その二つのイベントが無くなった際にイベントの正解率が急上昇したと思われる。このことは、データの分布を見てわかりづらいが、a 室周辺のセンサが反応する時と、東へ行きかける時のセンサが反応する時が同じであるというのはセンサの設置場所を考えると、直感的にわかりやすい。そこでセンサ設置の際や、イベント名定義を行う際に、同じ反応になりそうな定義の重複を避ける工夫をユーザが行わなければならないことがわかった。

これらのことは、使ってゆくうちに現状のシステムの欠点がユーザにわかるように、センサデータの分布表等を表示することで、改善の指針を示す必要があることを意味している。こうした意味において「しだいに生活になじむ」と言える。

5.3 学習データ数の増減に伴う正解率への影響に関する考察

図 9 の結果から、二時間分の学習データを用いた場合より、四時間分の学習データを用いた場合のほうが正解率が全体的に良くなっていることがわかる。したがって、使えば使

うほど学習データが増え、正解率が増すという意味でも「次第に生活になじむ」と言えるということがわかった。

6. おわりに

本稿では、環境内に設置した複数のセンサから得られる情報を、抽出したいイベントとして蓄積し、類似検索からイベントを発見する手法を実現した。人間や物理現象を含めた詳細な環境モデルを構築しないため、センサ情報の持つ意味をシステムが理解することはないが、モデル構築に関わるコストを削減し、生活密着のコンセプトであるアプリケーション構築の手軽さや自然と馴染むアプリケーション実現のためのフレームワークを実現できる見通しを得た。

センサやアクチュエータを含めた小型 PC が環境に組み込まれ、人間の生活を支援できる環境を実現するには、センサ自体の開発やネットワークの充足に加え、応用サービスの開発や実環境に依存しないアプリケーション開発環境の充実を進めていくことが重要である。今後は、本システムを用いたより実践的なサービスの開発、実環境での長期的実験に取り組む。

参考文献

- 1) D. Patterson, L. Liao, D. Fox, and H. Kautz.: "Inferring High-Level Behavior from Low-Level Sensors," UbiComp 2003, pp.73-89(2003)
- 2) I. Essa: "Ubiquitous Sensing for Smart and Aware Environments: Technologies towards the building of an Aware Home," Position Paper for the DARPA/NSF/NIST Workshop on Smart Environments(1999-7)
- 3) 大越匡, 杉田洋介, 土田泰徳, 若山史郎, 西尾信彦, 池田靖史, 徳田英幸: "次世代コンピューティング環境 "smart space" の実現に向けて," 情報処理学会第 12 回コンピュータシステムシンポジウム論文集 (2000-11)
- 4) T. Starner: "Wearable Computers: No Longer Science Fiction," IEEE Pervasive Computing, pp.86-88 (2002)
- 5) 佐々木弘, 坂根裕, 太田剛, 水野忠則: "SATSUKI: 仮想センサコンポーネントの組み合わせによるセンサアプリケーション開発環境," マルチメディア, 分散, 強調とモバイルシンポジウム (DICOMO2003), Vol.2003, No.9, pp.201-204(2003-6)
- 6) 久住憲嗣, 北須賀輝明, 中西恒夫, 福田晃, "ウェアラブル/移動情報端末におけるコンテキスト指向プロセス管理", 2002-MBL-23, pp.133-140(2002)
- 7) A. Harter, A. Hopper, P. Steggeles, A. Ward, and P. Webster, "The Anatomy of a Context-Aware Application," Proc. of 5th Annual Int ' Conf. Mobile Computing and Net-working (Mobicom 99), pp.59-68 (1999)
- 8) 佐々木弘, 坂根裕, 太田剛, 水野忠則: "環境に適応する生活密着型センサアプリケーション開発環境の構築," 情報学ワークショップ (WiNF2004), Vol.2004, pp.175-180(2004-9)
- 9) E. Tapia, S. Intille, and K. Larson: "Activity Recognition in the Home Using Simple and Ubiquitous Sensors," PERSASIVE 2004, LNCS 3001, pp.158-175, (2004)