

# 高齢者見守り支援システムにおける異常検知精度向上手法の提案

## An Accuracy Improvement Method of Anomaly Detection in Elderly Care System

坪井 辰之助\*<sup>1</sup>      大塚 孝信\*<sup>1</sup>      伊藤 孝行\*<sup>2</sup>  
Tatsunosuke Tsuboi      Takanobu Otsuka      Takayuki Ito

\*<sup>1</sup>名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻  
Department of Computer Science and Engineering, Nagoya Institute of Technology

\*<sup>2</sup>名古屋工業大学大学院産業戦略工学専攻  
Master Course of Techno-Business Administration, Nagoya Institute of Technology

Many researches have been conducted on anomaly detection by wireless sensor networks (WSNs). The existing WSNs require specialized knowledge and skills to install the sensors in environments such as houses and buildings. Therefore, we have developed a flexible WSN based on small sensor devices that can be easily installed. The users only need to place these sensors at the locations where they want to sense. Then, these small sensor devices automatically create wireless networks, start communicating with the central server for logging continuous data, and show anomalies by using inference based on a basic Bayesian Network. However, a problem is that a large amount of noise data prevents correct inferences. Therefore, in this paper, we propose a method for reducing noise data based on location sampling of real human movements. Our experimental results show that our method is effective in increasing the inference accuracy for detecting anomaly data.

### 1. はじめに

近年、日本では介護が必要な一人暮らしをしている高齢者が爆発的に増えている。介護が必要な独居高齢者の増加の中、「在宅介護」の重要性がますます注目されており、在宅介護に関する研究、商品およびサービスが多くある。在宅介護に関するサービスや研究が進む中、本研究では、簡単にセンサの設置が可能なワイヤレスセンサネットワークシステムの開発を行う。また各センサユニットから得られたセンシングデータの特徴を用いてサポートベクタマシン (SVM) で学習することによって、新たに観測したセンシングデータが異常か正常かを判断する手法を提案する。またセンサユニットの故障や人の動きに起因しない外部環境の変化によるセンサの誤検知などにより発生するノイズデータがサポートベクタマシンを使った正常異常判定の精度を低下させている原因と考えベジアンネットワークを使ったノイズ除去手法の提案を行い評価実験による評価を行う。

次に関連研究及びサービスについて述べる。

防犯分野で異常を検知するシステムが多く提供されている。代表的なのがセコム株式会社の提供するセコム・ホームセキュリティシステム [セコム 13] である。セコムのシステムは主に侵入経路と生活空間に設置された人感センサ、窓や玄関などに設置された開閉センサ、警備会社への通報ユニットで構成されている。しかしセコムのシステムの導入費用は工事費、月額使用料と高額であり、また機器の設置に工事が必要なため一度設置すると位置の変更が困難であることなど多くの改善点がある。

高齢者見守りの分野でも多くのサービス・研究があり、高齢者宅に設置された電気ポットを用いて電気ポットがいつ使われたかといった情報を息子や娘などに通知するサービス [象印 13]、RFID や荷重センサを家庭の各箇所に設置

して行動パターンを分析し異常時に通報を送るシステム [古屋 03][明山 08][矢崎 09]、及びカメラを用いた動画による異常検知システム [関 00][青木 02][中川 08] などがある。上記のサービスや研究の問題点として専用品を用いているため一般的にコストが高い、異常通報するシステムでは誤報が多いとシステムの信頼性が保てなくなる、及び常に動画を撮影するとプライバシーの問題があるといった点がある。

本論文の構成を以下に示す。2章では本研究で開発した簡単に設置が可能なワイヤレスセンサネットワークシステムについて述べる。3章では本研究で提案するセンシングデータの特徴を用いた SVM による異常検知手法について述べ、4章では本研究で提案するセンシングデータからノイズを除去するベジアンネットワークを用いた手法について述べる。その後5章にてノイズを含む学習データとノイズを除去した学習データを用いた評価実験を行い検証と考察を行う。最後に、6章で本研究のまとめを行い、今後の課題についてまとめる。

### 2. ワイヤレスセンサネットワークシステムの概要

本研究では誰でも簡単に設置できるワイヤレスセンサネットワークシステムを目標として開発している。開発したシステムは電池駆動で人感センサを搭載した無線通信可能なセンサユニット、無線通信可能で一定の情報処理能力を持つ受信ユニット、及びセンシングデータを保存、処理、及びユーザに閲覧する機能を提供するサーバの3つで構成される。開発したシステムの構成図を図1に示す。

センサユニットの構成を以下に示す。ZigBee モジュール (Digi Corp. XbeeS2B)、焦電型赤外線人感センサ (Panasonic Corp. Motionsensor Napion シリーズ)、DC-DC コンバータ (Linear Technology Corp. LTC3105) 及び Li-バッテリー (S.T.L Japan Corp. LI-3400SP3.7V4000mAh) である。開発したセンサユニットの回路基板を図2に示す。

システムの開発要件を満たすため受信ユニットは Arduino

連絡先: 坪井辰之助, 〒 466-8555 名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻, tsuboi.tatsunosuke@itolab.nitech.ac.jp

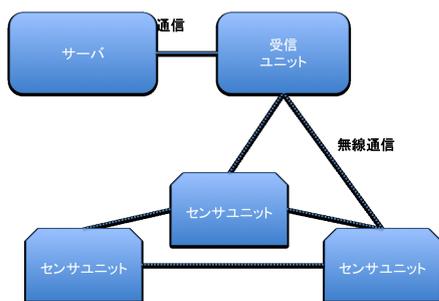


図 1: ワイヤレスセンサネットワークシステム構成図

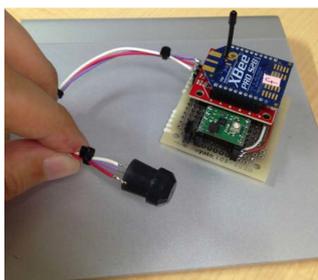


図 2: センサユニット回路基板図

Ethernet, ZigBee モジュール及び WirelessSD シールドによって開発した、受信ユニットの外観を図 3 に示す。

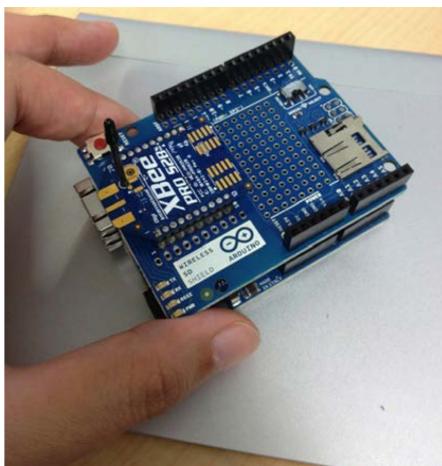


図 3: 受信ユニット図

受信ユニットではセンサユニットからセンシングデータが送られてくると、センサユニットに使用されている ZigBee モジュール固有に割り当てられたデバイス ID と電池残量を読み取り、デバイス ID と電池残量を研究室内に設置しているサーバに送信するよう開発した。

サーバアプリケーションは収集されたセンシングデータを誰でも簡単に見られるようにする必要があることから、データの閲覧とデータを CSV 形式でエクスポートが可能なように Web アプリケーションフレームワークの Ruby on Rails と、データベース管理システムは MongoDB を使用して開発した。ユーザが検知時間、デバイス ID (ZigBee モジュールの 64bit

アドレス)、センサユニットの電池残量、及びセンサユニット設置位置を確認できるインターフェースを開発した。開発したサーバアプリケーションによりユーザはスマートフォン等を用いてどこからでも手軽に高齢者宅の状況を確認できる。web ページでの閲覧例を図 4 に示す。web ページではユーザはどこに設置したセンサがいつ反応したのかを確認できるよう表形式でセンシングデータを表示している。Device Id と Place の列でどこに設置した ID が何番のセンサなのかを示す。Time の列でセンサがいつ反応したのかを示す。

iSensor

**Place sensor log**  
19-207号室 19-205号室 17-244号室

**Sensor log**

home sensor log place list sensor list help contacts

Latest Page Updated Time:2012/12/19 18:05:30

1 2 3 4 5 ... Next > Last >

Device Id	Sensor voltage	Place	Time
40981d53	0.0	207-a	2012/12/19 18:02:22
40981d53	0.0	207-a	2012/12/19 18:02:21
40981d53	0.0	207-a	2012/12/19 18:02:20
40981d53	0.0	207-a	2012/12/19 18:02:16
40981d53	0.0	207-a	2012/12/19 18:02:16
40981d53	0.0	207-a	2012/12/19 18:02:15
40981d53	0.0	207-a	2012/12/19 18:02:15
40981d53	0.0	207-a	2012/12/19 18:02:13
40981d53	0.0	207-a	2012/12/19 18:02:12
40981d53	0.0	207-a	2012/12/19 18:02:11
40981d4f	0.0	205-b	2012/12/19 17:59:53
40981d4f	0.0	205-b	2012/12/19 17:59:52

1 2 3 4 5 ... Next > Last >

図 4: web ページでの閲覧例

### 3. SVM による異常検知手法

#### 3.1 異常の定義

本研究における異常の定義を述べる。本研究では介護・見守りドメインと研究室ドメインにおいて共通する「普段活動しない時間帯での活動」という異常の検知を行う。また比較実験では研究室での異常の検知を目的とするが、両ドメインに共通する異常を対象にするため、研究室ドメインでの異常検知手法は介護・見守りドメインにおいても同様に適用可能である。

本研究で普段活動しない時間帯での活動を異常を検知対象とし、SVM を用いた異常検知手法を提案した理由は普段良く活動している時間帯という文脈からデータを解析し、普段活動しない時間帯の行動という異常を検知することが、システムの設置宅毎に違う普段に沿った異常を検知するのに検知方法の変更が容易である点が介護に有用であるからである。

#### 3.2 設定

センシングデータを基に異常検知を行うため研究室内の 1 室に 3 つのセンサユニットを設置し、センシングデータを収集した。センサユニットは部屋の住人の動線に合わせて設置しており部屋全体のセンシングを可能とした。部屋の構図とセンサユニットの配置図を図 5 に示す。図 5 では黒の破線で各センサユニットの検知範囲も示しており緑色の線で住人の動線を表示している。

実際に開発したワイヤレスセンサネットワークシステムから取得されたセンシングデータの例を表 1 に示す。例では各センサユニットに固有に割り当てられたデバイス ID、各センサ

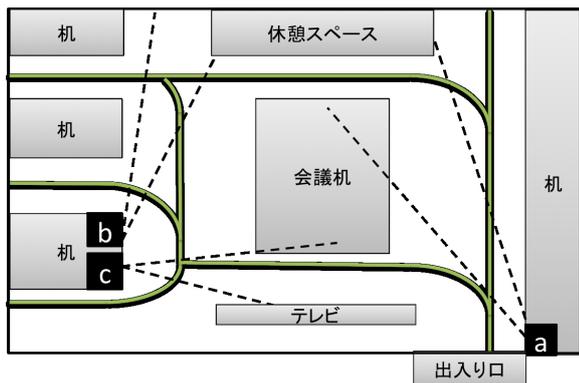


図 5: A 室の構図とセンサユニット配置図

ユニットの電源電圧, センサユニットが反応した時間を表形式で示している.

表 1: 取得センシングデータ例

デバイス ID	電圧	検知時刻
40981d4f	3.8	2012-08-20 15:49:17 +0900
40981d4f	3.8	2012-08-20 15:49:31 +0900
40981d4f	3.8	2012-08-20 15:49:32 +0900
40981d4f	3.8	2012-08-20 15:49:36 +0900
40981d51	3.8	2012-08-20 15:49:38 +0900
40981d51	3.8	2012-08-20 15:49:45 +0900
40981d4f	3.8	2012-08-20 15:49:46 +0900
40981d4f	3.8	2012-08-20 15:49:47 +0900

### 3.3 学習データの生成

SVM で学習に用いる学習データの生成では, 3 章で述べたワイヤレスセンサネットワークシステムで収集したセンシングデータを使用して生成する. 生成する素性は 3 つあり, 1 つ目はセンサデータの検知時刻の「時間」, 2 つ目はセンサデータの検知時刻の「分」, そして 3 つ目はセンサデータの検知時刻の「秒」である. 以上の特徴を用いて学習データを生成し SVM に学習させる. 素性は, 先頭にラベル, 続いて第一素性, 第二素性, 及び第三素性と 1 つの学習データを 1 行に書き込んだものを使用する.

学習データにおける素性は, 先頭に, 正例ならば "+1", 負例ならば "-1" を行の先頭に書き込み SVM に正常クラスと異常クラスを認識させる. 学習データを正例, 負例に分類する際には収集したセンシングデータを手動で分類する. 収集した中から 1 日のセンシングデータを分類する際, 収集した 1 日前から 1 週間前までのセンシングデータと比較をする, センシングデータがほとんど発生しない時間帯に発生しているセンシングデータは負例に残りのセンシングデータは正例に分類する.

表 2 に素性の例を示す. 表 2 の最上段の例では正例と分類した 9 時 3 分 43 秒に検知されたデータを基に SVM に用いる学習データとして生成したものである.

表 2: 学習データ例

1	1:9	2:3	3:43
1	1:9	2:3	3:46
1	1:9	2:3	3:47
1	1:9	2:3	3:49

## 4. ベイジアンネットワークによるノイズ除去

### 4.1 ベイジアンネットワークの構築

本研究で開発したワイヤレスセンサネットワークシステムの特徴として誰でもセンサユニットを設置して電源を入れるだけでシステムの運用が可能という点あげられる. 一方で開発したシステムの問題点として設置が用意なため人の動きではない外部環境の変化が原因となるノイズデータが多く発生する. ノイズデータは 3. 章で述べた異常検知手法の精度を低下させている.

本研究ではノイズデータを除去するため, センサユニット間での人の動きを原因とし連続して発生したセンシングデータ 2 つの並びを結果とするモデルをベイジアンネットワークで表現し, 結果が観測された尤もらしい原因を推定することで, ノイズが原因で連続して発生したセンシングデータ 2 つの並びを特定し除去を行う.

構築するベイジアンネットワークは親ノードを持たない確率変数にセンサユニット間での人の動きのモデルを設定する. センサユニット間での人の移動を親ノードに持つ子ノードに連続して発生したセンシングデータ 2 つの並びを設定する. 図 6 に構築したベイジアンネットワークモデルを示す. 人の動きのモデルでは a-a はセンサユニット a の検知範囲内での移動を, a-外 はセンサユニット a と室外との間の移動を, 及び Noise はノイズを発生させる原因を表している. センシングデータの並びでは aa はセンシングデータ a が発生した後続いてセンシングデータ a が発生したことを, ab はセンシングデータ a が発生した後センシングデータ b が発生したことを, 及び  $\delta c$  は一定時間他のセンシングデータが発生しなかった後センシングデータ c が発生したことを表している.

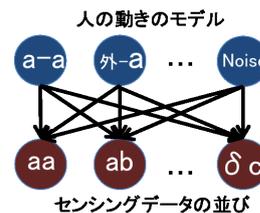


図 6: ベイジアンネットワークモデル図

### 4.2 ベイジアンネットワークの確率設定と推定結果

人の動きのモデルを確率変数にもつノードの生起確率, 人の動きのモデルを条件として持つセンシングデータの条件付き確率を設定し, あるセンシングデータの並びが観測された原因は人の動きが原因なのかノイズが原因なのか式 (1) で定義される確信度を計算し, 推定する.

$$\text{確信度} = P(X|Y) = P(Y|X)P(X)/P(Y) \quad (1)$$

$X \in$  人の動きのモデル,  $Y \in$  センシングデータの並び

生起確率の設定では、誰がどういう経路に沿って移動したかわからないが実際に収集したセンシングデータに対して、センサユニット A の前を通過してセンサユニット B の前まで移動した場合、センシングデータ a、センシングデータ b の順に発生するという仮定を基にセンサユニット間での移動が生起する確率を計算し設定する。一方条件付き確率ではセンサユニット間の経路毎に複数回移動し、実際に発生したセンシングデータの並びをサンプリングし、各条件付き確率を計算して設定する。

実際に収集したセンシングデータと決められた経路に沿って 100 回移動し収集したサンプリングデータを基に、ベイジアンネットワークを構築し確信度を計算した結果、ノイズが原因で発生したと推定されたセンシングデータの並びを特定した。b $\delta$ , c $\delta$ ,  $\delta$ b,  $\delta$ c の 4 つである。よってこれらのセンシングデータの並びをノイズデータとして除去を行う。

## 5. ノイズ除去前後の比較実験

2012 年 12 月 1 日から 2012 年 12 月 8 日までに収集したデータを基に本研究で提案したベイジアンネットワークを使ったノイズ除去手法を用いて以下の 2 つのデータを用意する。

- ノイズを除去していないセンシングデータ
- ノイズを除去したセンシングデータ

上記 2 つのデータを手動で正例、負例に分類を行い学習データを用意する。用意した学習データ 2 つに対し SVM のパラメータ調整を各カーネル関数に対して行い、5 分割交差検定を行うことで評価値を出す。使用する評価値は異常クラスの正解率、適合率、再現率、及び F 値を用いる。評価値の比較を行うことで提案したベイジアンネットワークによるノイズ除去手法により予測精度が向上していることを示し、提案手法の有効性を明らかにする。ノイズ除去を行う前の学習データを使用した異常検知手法による異常クラスの正解率、適合率、再現率、及び F 値を表 3 に示す。

表 3: ノイズ除去前の各カーネル関数毎の評価値

カーネル	正解率	適合率	再現率	F 値
線形	0.98386	0.98367	0.98406	0.98386
多項式	0.99114	0.99821	0.98429	0.99120
<b>RBF</b>	<b>0.99293</b>	<b>0.99323</b>	<b>0.99266</b>	<b>0.99293</b>
シグモイド	0.97968	0.97908	0.98026	0.97966

ノイズ除去を行った後の学習データを使用した異常検知手法による異常クラスの正解率、適合率、再現率、及び F 値を表 4 に示す。

表 4: ノイズ除去後の各カーネル関数毎の評価値

カーネル	正解率	適合率	再現率	F 値
線形	0.98764	0.98395	0.99126	0.98759
<b>多項式</b>	<b>0.99458</b>	<b>0.99783</b>	<b>0.99138</b>	<b>0.99460</b>
RBF	0.99046	0.98959	0.99131	0.99044
シグモイド	0.98438	0.97853	0.99013	0.98429

本研究で提案したベイジアンネットワークによるノイズ除去手法によりノイズを除去した学習データと除去していない学習データを用意し 5 分割交差検定を行い評価をした。表 3 と表 4 よりノイズ除去前に RBF カーネルが示した最も高い正解率、F 値よりノイズ除去後に多項式カーネルが示した正解率、F 値が高い値を示していることから予測精度が向上している、よって提案手法の有効性を確認した。しかし提案手法でノイズを十分に特定するには住人の動線の分岐を出来るだけセンサユニットの検知範囲に収める必要があることがわかった。

## 6. まとめ

本研究で行った実験の結果から、提案手法である SVM を使ったセンシングデータの解析による異常検知手法により本研究の検知対象である「普段活動しない時間帯での活動」という異常が検知できることを確認した。また予測精度を低くしている要因である、ノイズデータを本研究で提案したベイジアンネットワークによるノイズ除去手法で除去した学習データ、除去していない学習データとの比較実験を行った結果、異常検知の予測精度が向上したことが確認された。今後の課題としては、実際の介護施設において実証実験を行い開発したシステムの改善などを行なう。

## 謝辞

本研究の一部は、内閣府の先端研究助成基金助成金（最先端・次世代研究開発プログラム）により助成を受けている。

## 参考文献

- [セコム 13] セコム株式会社, “セコムホームセキュリティシステム”, <http://www.secom.co.jp/homesecurity/>, 2013 年 4 月 8 日
- [象印 13] 象印マホービン株式会社, “みまもりホットライン” <http://www.mimamori.net/>, 2013 年 4 月 8 日
- [関 00] 関 弘和, 堀 洋一, “高齢者モニタリングのためのカメラ画像を用いた異常動作検出”, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, Vol.122, 2000.
- [青木 02] 青木 茂樹, 岩井 嘉男, 大西 正輝, 小島 篤博, 福永 邦雄, “人物の位置・姿勢に注目した行動パターンの認識”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.102, 2002.
- [中川 08] 中川 健一, 杉原 太郎, 小柴 等, 高塚 亮三, 加藤 直孝, 國藤 進, “実社会指向アプローチによる認知症高齢者のための協調型介護支援システムの研究開発”, 情報処理学会論文誌, Vol.49, 2008.
- [古屋 03] 古屋 雅宏, 村上 肇, Wataru Miyamoto, “独居高齢者の生活習慣に基づく少数のセンサによる体調不良日検出”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.102, 2003.
- [明山 08] 明山 寛史, 川村 尚生, 菅原 一孔, 齊藤 剛史, 小西 亮介, “ネットワークから制御可能な多機能コンセント”, 第 7 回情報科学技術フォーラム, Vol.25, 2008.
- [矢崎 09] 矢崎 俊志, 松永 俊雄, 月江 伸弘, “RFID と生体センシング技術を利用した高齢者向け快適生活支援システム”, 電気学会研究会資料. IIS, 産業システム情報化研究会, 2009.