

平均行動量に基づく住民活動モデルを使った 異常検知システム

大塚 孝信^{1,a)} 伊藤 孝行^{1,b)}

概要:近年、センサネットワークを用いて大規模なデータ収集が広く行われている。それに伴い、データの中での異常を検知する Anomaly Detection に関する研究の重要性が増している。我々は、人間の生活の中での異常な行動を検知することを目的とした研究を行っている。しかし、通常の行動の中での異常を定義することは非常に難しい。本研究では、異常状態の定義を目的として、モーションセンサによって取得されたセンサデータを基に、行動量の平均を用いた住民活動モデルを作成するシステムを構築した。

1. はじめに

近年、スマートフォンに代表される情報端末が広く普及している。そのため、従来は大型だった通信モジュールや各種センサ類の小型化が進むとともに、通信モジュールとセンサを組み合わせた無線通信によるセンサネットワークの研究が多く行われている。従来型のセンサを用いた研究では少数の高価なセンサを特定の場所に据え付けて測定を行い、測定値についてもセンサ近傍に出向かなければ得ることができない。しかし、近年のワイアレスセンサネットワークは安価なセンサを任意の場所に大量にばらまくことで“点”の情報ではなく“面”で情報をとらえることが可能になっている。これにより、ある程度の精度が確保された安価なセンサを利用でき、少量の高価なセンサを用いるよりも精度の点でも有利となっている。また、ワイアレスセンサネットワークの特徴としてリアルタイムの情報を取得可能ということが挙げられる。代表的な例として、橋梁や高速道路などの建造物における健全性をモニタリングする構造センシングや温度や湿度を大規模に計測して可視化を行う環境センシングなどが挙げられる。更に、取得した情報を照明や空調システムのフィードバック制御に用いることで電力消費量を減少させる研究も行われている。また、内蔵したプロセッサにより搭載した各種センサ情報によるフィードバック制御、他のユニットと相互通信を行うことで自律動作を行うロボット群についてもワイアレスセンサ

ネットワークであり、広く研究が行われている。それに伴い、データの中での異常を検知する Anomaly Detection に関する研究の重要性が増している。我々は、人間の生活の中での異常な行動を検知することを目的とした研究を行っている。しかし、通常の行動の中での異常を定義することは非常に難しい。本研究では、異常状態の定義を目的として、モーションセンサによって取得されたセンサデータを基に、行動量の平均を用いた住民活動モデルを作成するシステムを構築した。本稿の構成を以下に示す。まず、2章で本研究と関連する先行研究を紹介し、本研究の位置づけを示す。そして、3章でセンシングデータの取得方法について述べる。その後、4章において提案する住民活動モデルについて述べ、5章において実験結果と考察について述べる。そして最後に、6章で本稿のまとめと今後の課題を示す。

2. 異常検知のための行動モデル作成

2.1 関連サービス

防犯分野で異常を検知するシステムは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 [7] や ALSOK 総合警備保障の提供するホームセキュリティシステム [8] である。以上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。高齢者見守りの分野でも多くのサービスや研究があり、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親族に通知するサービス [1]、人感センサを用いて高齢者の行動パターンを分析し、異常時に通報を送るシステム [2][3]、

¹ 名古屋工業大学大学院 情報工学専攻
Nagoya Institute of Technology

¹¹ 現在、名古屋工業大学大学院 産業戦略工学専攻
Presently with Nagoya Institute of Technology

a) otsuka.takanobu@nitech.ac.jp

b) ito.takayuki@nitech.ac.jp

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 [4], ウェアラブルセンサによる体温情報監視システム [5] また、カメラを用いた動画による異常検知システム [6], などがある。以上のサービス・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く・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。また、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。そのため、我々は人間の動きを感知するモーションセンサのみを用いて、日常の生活をセンシングすることとしている。さらに、本研究と類似した製品として GE 社の QuietCare[9] も存在する。QuietCare は我々と同じく人感センサを用いて住民の行動データを蓄積し、異常時に通報するシステムである。しかし、一定の行動がない場合に人間が判断して通報するというシステムを用いており、使用ユーザーが増加した場合には人件費が増大することが予想される。そのため我々は、日常の行動を蓄積し、平均行動量を用いて住民活動をモデル化することで異常を検出する。

2.2 異常検出に関する研究

近年、センサを用いてセンシングしたデータやクレジットカードの使用履歴など様々なデータを解析することにより異常検出を行う Anomaly Detection[11] と呼ばれる研究が多くの研究分野とアプリケーションドメイン内で研究されている。Anomaly Detection の研究分野の主な技法は大半が、分類技法をもとにした技術のカテゴリ、最近傍法をもとにした技術のカテゴリ、及びクラスタリング技法をもとにした技術のカテゴリ、統計技法をもとにした技術のカテゴリに分類することができる。また、いくつかの技術は情報理論をもとにした技術のカテゴリ、スペクトル理論をもとにした技術のカテゴリに属している。以上のように様々な技法が存在しており、実際に運用されているシステムとしては、コンピュータ・ネットワーク上のハッキングされたコンピュータが不正に機密データを送信していることを意味する異常なトラフィックパターンの検出 [12], MRI 画像中の悪性腫瘍の存在を示す異常の検出 [13], 宇宙機の幾つかの部品の障害を意味する宇宙機のセンサからの異常な測定値の検出 [14], などが研究されている。ワイヤレスセンサネットワークからのストリーミングデータの信頼性がユーザの観点から重要なことから、センサ間の条件付き依存関係を考慮したベイジアンネットワークによるセンサの異常値を検出する研究 [15], ワイヤレスセンサネットワークを使って位置検出を行うシステムにおいて、敵によって引き起こされる位置情報の異常を検出するため統計モデルを使う研究 [16], 気象データを収集する分散型ワイヤレスセンサネットワーク内の異なるノードから集めたデータを融合し、スペクトル理論を使った異常検出を行う研究 [17] などがある。以上の研究の特徴として異常状態と正常状態

の定義がしやすいことが挙げられる。一方、我々は日常生活の中での異常は通常的生活パターンの中での異常を検知することを目標としている。そのため、通常的生活の中における境界が決定しづらい状況の中で異常と正常の境界を設定する必要がある。また、人間の行動は人によって異なり、一定ではない。本研究では日常の行動の中での異常境界を判断するために、日常の行動パターンを可視化し、時間ごとの行動頻度をモデル化するシステムを構築した。

3. センシングデータの取得

3.1 設置が容易なセンサネットワーク

我々は独自にワイヤレスセンサネットワークシステムの設計・開発を行っている。本センサネットワークは誰でも簡単に設置できるセンサネットワークを目標として開発しており、センサユニットは電池駆動、無線通信が可能で人感センサを搭載し、置くだけで設置が完了する。受信ユニットには、マイクロプロセッサを内蔵しており、センサ ID と検知時刻を統合してサーバーへ送信する。通信方式には Zigbee を用いており、超低消費電力であり、容易にメッシュネットワークが構築できる。消費電力については電源線も不要とするため、バッテリーで長期間動作可能であることが重要な要素である。例えば CR2032 型ボタン電池のみで 6 ヶ月の稼働が可能であることと、例えばユニット A からユニット B へ通信したいときにピア to ピアの通信だけでなく他のユニットを自動で検知することで最適な通信ノードを用いて通信するメッシュネットワークが特別な設定なしに実現することができる。また、Zigbee モジュールは個別に 64bit アドレスを持ち、一つのネットワーク上に最大 65,536 個の Zigbee モジュールを接続することが可能であるため、多くのセンサユニットを接続する必要があるセンサネットワークには適している。Zigbee モジュールはリピータの役割も持っており、電波強度が弱い際には中間地点に設置された Zigbee が情報をリレーすることにより最適な通信経路を選択することが可能となっている。メッシュネットワークの機能は通信状態が悪くなりがち大きな家屋に設置するセンサネットワークを構築する上で非常に重要な要素である。本研究では、人感センサを搭載した誰でも簡単に設置が可能であり、かつ設置場所を自由に変えられることを特徴としている。システムの概要を図 1 に示す。

受信ユニットはセンサユニットから送信される情報と ZigBee モジュールが個々に持つ 64bit アドレスをサーバーへ送信する。受信ユニットは AVR マイコンである Arduino を用いている。Arduino を用いることによりサーバーに全てを依存するのではなく、センサデータとセンサアドレスの統合といった簡単な処理は受信ユニットで行うこととしている。更に、PIC 等の汎用プロセッサと比較してプログラムの際に使用できるライブラリも多くあり、ソフ

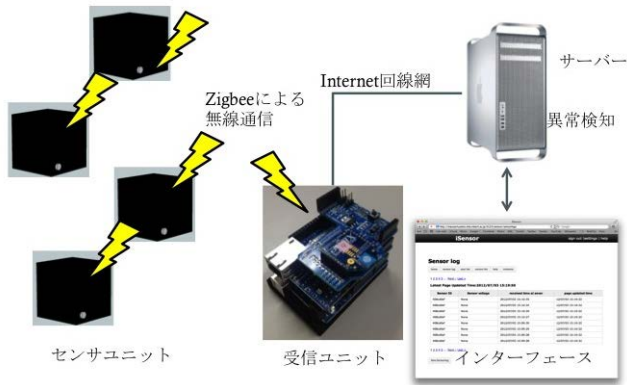


図 1 システム概要図

トウェアや SDK のアップデートも盛んに行われている。Arduino 互換機も多く販売されており、プログラムのソースコードを様々な互換機にそのまま使用できることも挙げられる。また、OTA(Over The Air) 経由でのソフトウェアアップデートにも対応しており、最新のソフトウェアを遠隔地から更新することも可能としている。外部 API によって Zigbee との相互通信機能もサポートされているため Zigbee モジュールのアップデートがあった場合でも遠隔地から Zigbee モジュールのファームウェア更新が可能である。これにより、常に最新のソフトウェアでの運用が容易に行える。

以下に受信ユニットの構成を示す

- Arduino Ethernet
- Zigbee モジュール
- Wireless SD シールド

Arduino Ethernet は POE 電源供給に対応しており、Ethernet ハブが POE 電源供給対応であれば電源ケーブルをつなぐ必要はなく、Ethernet ケーブルのみを接続すれば動作可能である。Wireless SD シールドはセンシングデータを micro SD カードに格納することも可能である。試作機では標準の Arduino ユニットを用いているが、Arduino は互換機が多く販売されており、超小型、低価格といった多くの用途別の製品群を選択することにより様々な用途に対応することができる。また、大量に生産されているため低価格で入手が容易であることも特徴である。試作した受信ユニットを 2 に示す。

サーバは受信したデータを web ページを通して表示し、ユーザがセンシング状況を閲覧することを可能としている。web インターフェースでは以下の情報を閲覧することができる。

- センサ検知時間
- デバイス ID(Zigbee ユニットの 64bit アドレス)
- センサ設置位置
- センサを設置した部屋の名称

サーバは Ruby によって記述されており、5 秒ごとに

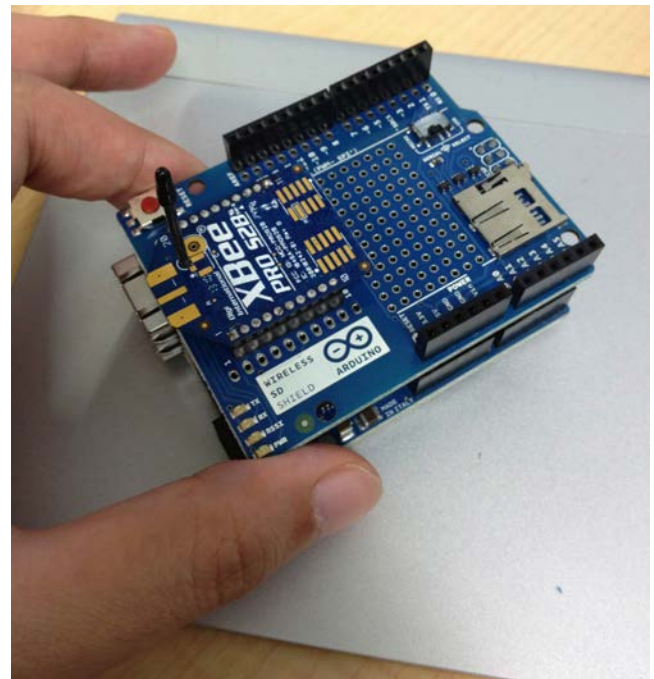


図 2 試作した受信ユニット

最新の情報に更新されることで最新データを視覚的にわかりやすく表示している。また、64bit アドレスによって容易にセンサの設置位置と設置した部屋の情報をユーザーが自由に変更できる。この機能により、センサを追加した場合でも容易に設置場所欄へ追加したセンサを登録でき、設置場所毎にログを閲覧することができる。web インターフェースを 3 に示す。

Device Id	Sensor voltage	Place	Time
4078f01e	None	秘書机前	2012/07/06 15:56:23
4078f01e	None	秘書机前	2012/07/06 15:56:22
4078f01e	None	秘書机前	2012/07/06 15:56:21
4078f01e	None	秘書机前	2012/07/06 15:56:20
4078f01e	None	秘書机前	2012/07/06 15:56:19
4078f01e	None	秘書机前	2012/07/06 15:56:17
4078f01e	None	秘書机前	2012/07/06 15:56:15
408cd0ef	None	玄関	2012/07/06 15:56:10
408cd0ef	None	玄関	2012/07/06 15:56:09
408cd0ef	None	玄関	2012/07/06 15:56:08
408cd0ef	None	玄関	2012/07/06 15:56:06
408cd0ef	None	玄関	2012/07/06 15:56:06

図 3 Web インターフェース

web インターフェースはスマートデバイスなどのブラウザを内蔵した端末や PC などを用いることでどこからでもアクセスすることを可能としている。そのため、通知型のシステムと比較して、確認したい時にアクセスすることで自由に最新状況を閲覧できる。

センサユニットは電源と信号線を不要としており、検出したい対象に向けて置くだけで設置が完了する。そのため、本棚の空きスペースや下駄箱の上など、電源線や信号線の取り回しを考える必要なく、設置が可能である。センサユニットの構成を以下に示す。

- Zigbee モジュール (Digi Corp. Xbee S2B)
- Motion センサ
(Panasonic Corp. Motion sensor Napion シリーズ)
- DC-DC コンバータ
(Linear Technology Corp. LTC3105)
- Li-バッテリー
(S.T.L Japan Corp. LI-3400SP 3.7V4000mAh)

我々は、設置場所のプライバシーに配慮し、人間の動きのみを検知し、個を判断できないモーションセンサーを用いている。モーションセンサは赤外線センサの一種であり、赤外線センサは、赤外領域の光(赤外線)を受光し電気信号に変換して必要な情報を取り出して応用する技術、またその技術を利用した機器である。利点としては、人間の視覚を刺激しないで物を見られることや、対象物の温度を遠くから非接触で瞬時に測定できるなどの特徴を持つ。モーションセンサは、生活の至る所で使用されており、代表例としては人体を検知した際にライトを点灯させるセンサライト等が挙げられる。また、検知範囲には指向性があり、対象とする検知範囲を把握しやすい。更に、距離が離れたとともに扇状に検出範囲が拡大するため、1つのセンサでカバーできる検知範囲が広いといった特徴がある。

検知範囲例を Fig 4 に示す。

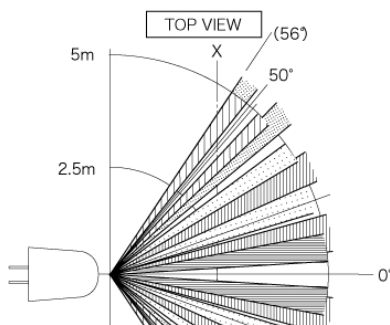


図 4 一般的なモーションセンサの検知範囲例

使用する筐体については事前実験での知見 [10] からアクリル製 75mm 角の黒い立方体を用いて、家具や電化製品の上などに置いた際にもあまり目立たない外観としている。センサユニットの外観と内部の写真を図 5 に示す。

現状では、連続稼働時間は 3 ヶ月程度であるが、通信間隔の設定を変更することにより 6 ヶ月程度までは稼働可能である。以上のように、一般家庭でも運用が容易なセンサネットワークを開発しており、本研究にて開発している異常通報システムを用いることで一般家庭における異常行動を通報することを目標としている。

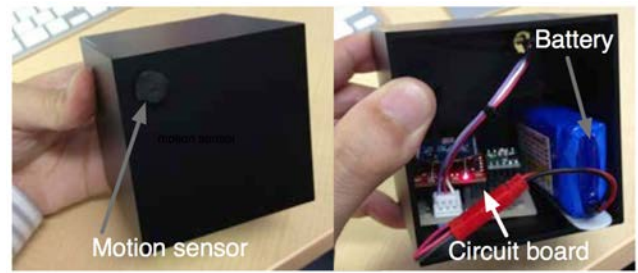


図 5 センサユニット筐体外観図, 内部図

3.2 設置環境

我々は実センシングデータを基に異常検知を行うため研究室内に 4 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。センサユニットは学生の動線に合わせて設置しており、人間の活動の激しい動線に対し直角に配置している。設置位置を部屋のレイアウトに合わせて変更することで生活空間のほぼ全てを網羅することが可能となった。研究室内に設置したセンサユニットの配置図を図 6 に示す。本研究室内は大きく分けて 2 つのエリアに分かれて

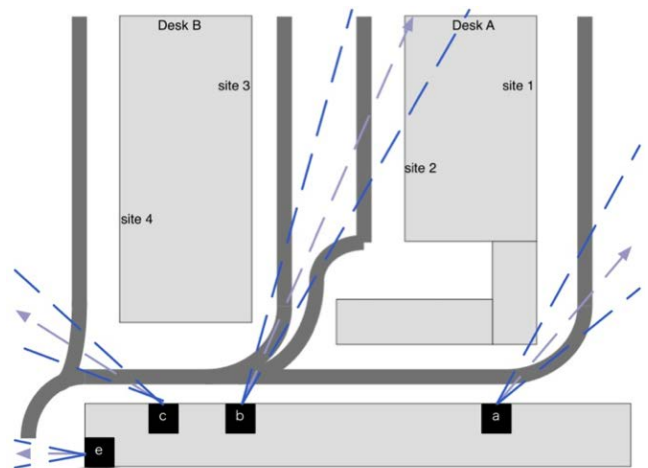


図 6 センサユニット配置図

おり、それらの机から出入り口へ向かう経路への動線を図示している。またセンサはそれら動線に対し直角に配置しており、センシング最大距離は約 5m であるため、研究室全体のセンシングが可能である。また、動線が比較的单純のため、企業や一般家庭と類似したセンサ配置となっている。本研究では、これらのセンサによって収集されたデータを用いて実験を行っている。

4. 行動量の平均を用いた住民活動モデルの構築

4.1 日常の行動パターン可視化

本研究では、我々が開発した、センサネットワークによるデータを用いて行動パターンの可視化及び異常検知をテストした。本センサネットワークは通常、室内の玄関(センサ e)と行動動線(センサ a と b, 及び c)に設置され、

行動ログを 24 時間クラウドサーバに保存している。我々はまず、居住者の行動を可視化するため、一日を 1 分毎のスロットに分け、出現回数をカウントすることで行動頻度を可視化している。出現回数のカウント結果は確率として算出され、分単位における出現頻度がセンサごとに計算される。行動量の可視化には、ベイズの定理を応用した以下の計算式を用いている式 (1) id にはセンサ id, Time は 24 時間を 1 分毎に区切った時間である。これにより、あるセンサの時間 (分毎) の出現確率を求めることができる。

$$P(ID | Time) = \frac{P(ID, Time)}{P(Time)} \quad (1)$$

出現回数のカウントはセンサごとに行っており、出現回数のカウントを蓄積した日数で除算することにより、1 分のスロットごとの出現確率を計算している。出現回数のカウント例を表 1 に示す。

表 1 出現頻度の例

時間	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	カウント回数	出現確率
12:00	0	1	0	1	1	0	1	0	4	0.571
12:01	0	1	0	0	1	0	1	0	3	0.428
12:02	1	1	1	1	1	0	1	1	7	1
12:03	1	1	0	1	1	1	1	0	6	0.857
12:04	0	1	0	0	1	0	1	0	3	0.428
12:05	1	1	0	1	0	0	1	0	4	0.571
12:06	1	1	0	0	1	0	1	1	5	0.714

次に、算出された出現頻度を一日の行動頻度のパターンとして出力することで、住民活動モデルを作成する。図 7 に行動頻度を可視化したグラフを示す。

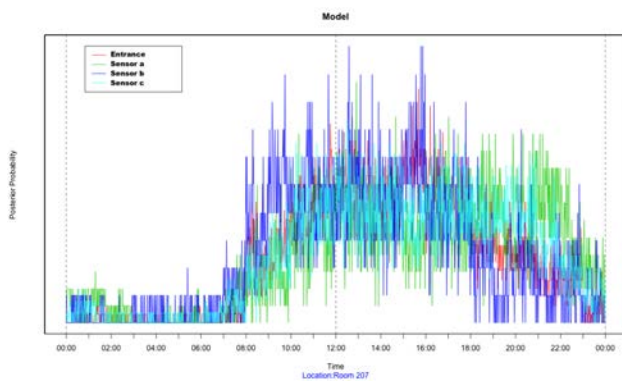


図 7 行動頻度の可視化

以上により、住人の行動ログを蓄積したデータを用いることで一日の中で住人が最も活動する時間帯、活動量の少ない時間帯を可視化することができる。

4.2 時間間隔を取り入れた活動量のモデル化

しかし、人間の行動はパターンは決まっても、行動する時間にはばらつきがある。一般的な行動例を図 8 に示す。図 8 に代表されるように排泄行動や食事及び就寝など、一定のパターンで行動はしていても各個人の性格や暮

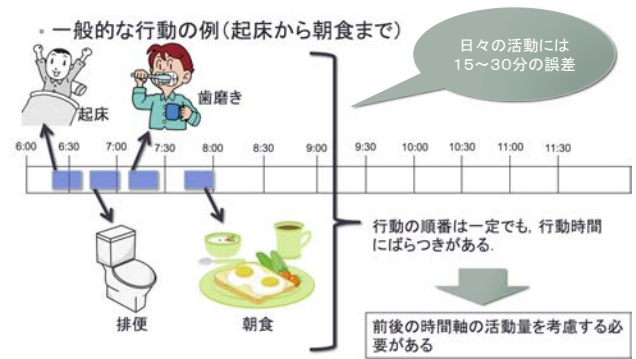


図 8 一般的な人間の行動例

らし方により時間にばらつきが生じることが多い。そのため、1 分毎の行動をそのまま可視化した場合には行動頻度の高い時間と行動量の低い時間の上下動が大きく、異常状態と正常状態の定義が難しい。

そのため、前後の一定の時間間隔で行動頻度を平均することで異常が定義可能な住民行動モデルを作成する必要がある。具体的な例を図 9 に示す。

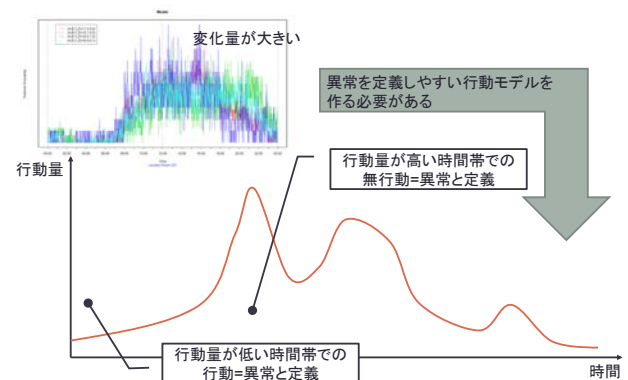


図 9 異常の定義と行動量平均

我々は、前後の行動頻度の平均を用いることで、行動頻度の高い時間と低い時間を可視化することで、異常状態の定義を可能とするモデルを作成した。

5. 実験結果

5.1 時間間隔の変化がモデルに与える影響

本研究では、3 章で述べたセンサネットワークのデータを用いて住民行動モデルを作成した。

データ収集期間と件数は以下である。

- 短期データ蓄積期間：2013/7/1 から 2013/7/6
- 中期データ蓄積期間：2013/7/1 から 2013/7/20
- 長期データ蓄積期間：2013/7/1 から 2013/8/30

住民活動モデルの作成には長期 (2 ヶ月間) と中期 (10 日間) 及び短期 (5 日間) の蓄積データを用いており、住民行動モデルの蓄積期間と時間間隔の変化がグラフにどのような影響を与えるかを考察した

更に、前後間隔を変化させることで住民行動における特徴量を消さず、異常を定義可能な可視化を行うために以下の前後時間を用いた住民活動モデルを作成した。

- 前後 15 分の行動頻度を考慮した場合 (短期：図 10, 中期：図 11, 長期：図 12)
- 前後 30 分の行動頻度を考慮した場合 (短期：図??, 中期：図??, 長期：図 15)
- 前後 60 分の行動頻度を考慮した場合 (短期：図 16, 中期：図 17, 長期：図 18)
- 前後 90 分の行動頻度を考慮した場合 (短期：図 19, 中期：図 20, 長期：図 21)
- 前後 120 分の行動頻度を考慮した場合 (短期：図 22, 中期：図 23, 長期：図 24)

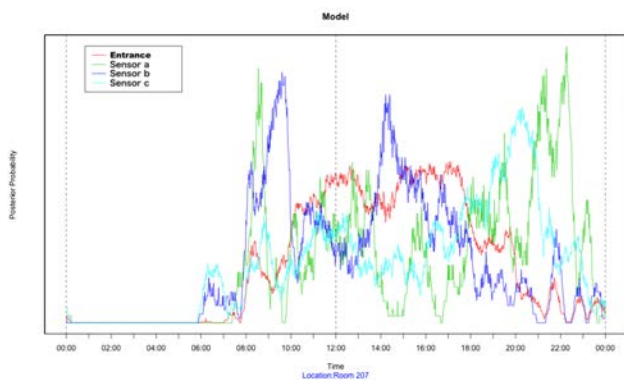


図 10 [短期] 前後 15 分の行動頻度を考慮した場合

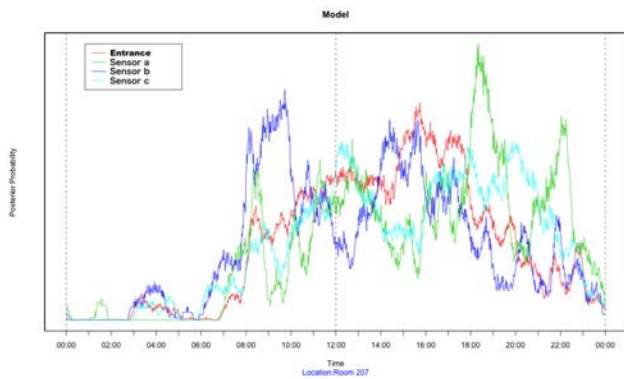


図 11 [中期] 前後 15 分の行動頻度を考慮した場合

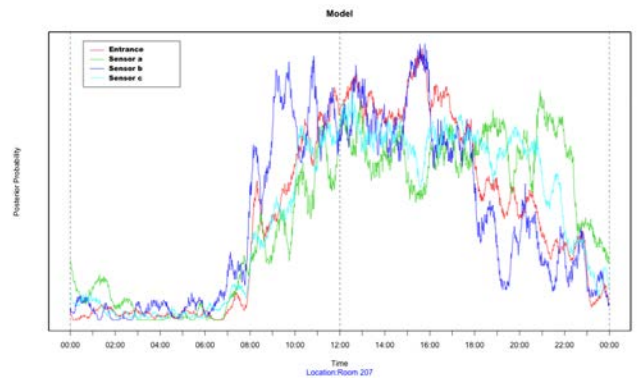


図 12 [長期] 前後 15 分の行動頻度を考慮した場合

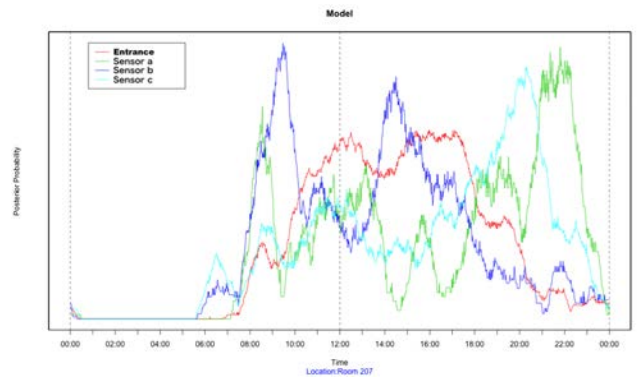


図 13 [短期] 前後 30 分の行動頻度を考慮した場合

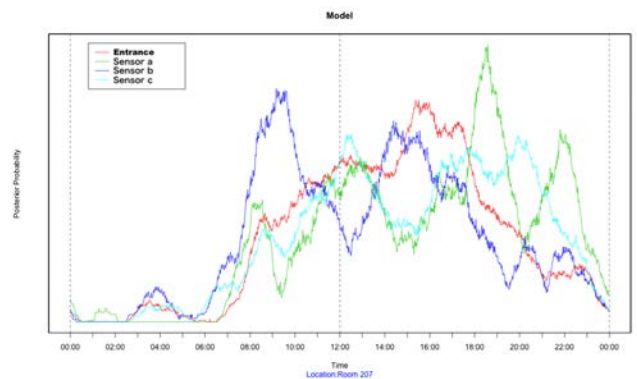


図 14 [中期] 前後 30 分の行動頻度を考慮した場合

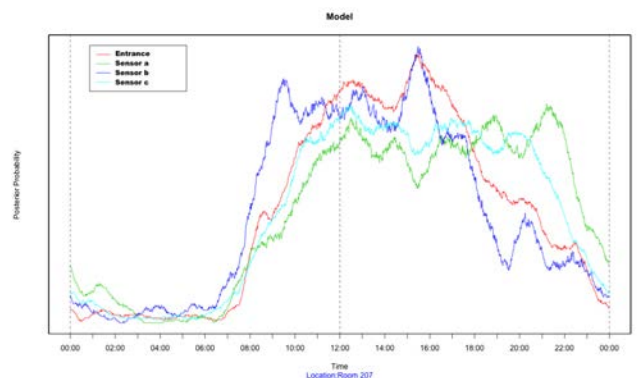


図 15 [長期] 前後 30 分の行動頻度を考慮した場合

5.2 考察

実験結果により、前後関係の間隔を広くとるに従い、活動頻度の差が大きくなり、日常的に活動している時間帯と活動量の少ない時間帯が明確となる。そのため、異常状態の定義がしやすくなると考える。また、蓄積日数に関しては 5 日間の短期データと 10 日間の中期データ、及び 2 ヶ月間の長期データを比較した。研究室内の結果において、短期データでは活動量の蓄積が十分ではなく、特徴量が偏つ

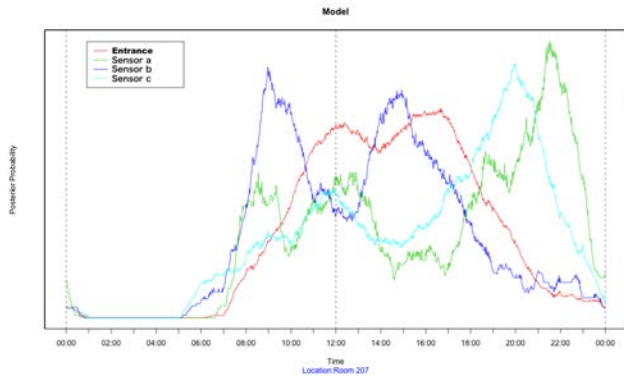


図 16 [短期] 前後 60 分の行動頻度を考慮した場合

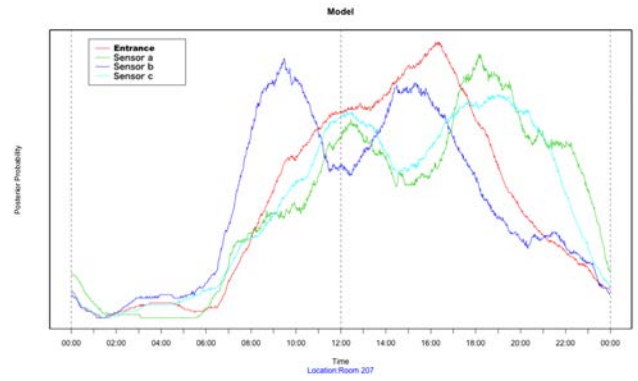


図 20 [中期] 前後 90 分の行動頻度を考慮した場合

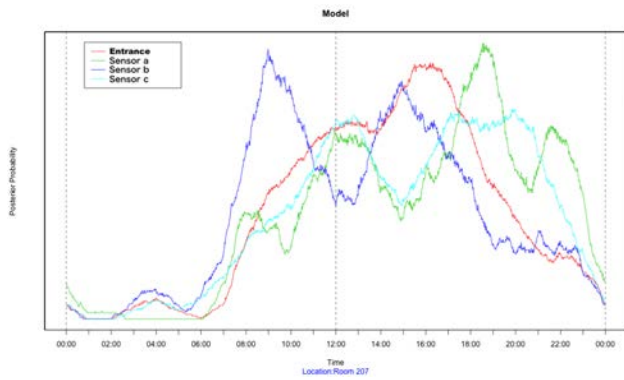


図 17 [中期] 前後 60 分の行動頻度を考慮した場合

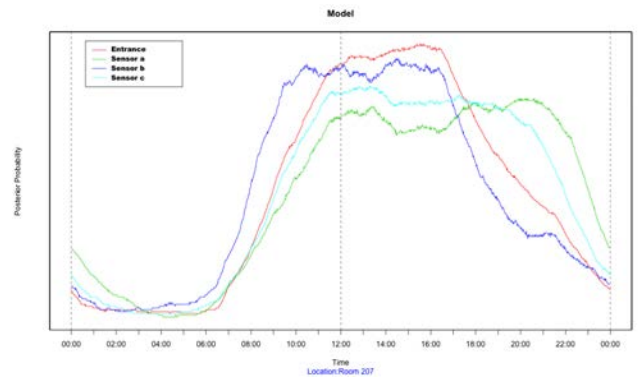


図 21 [長期] 前後 90 分の行動頻度を考慮した場合

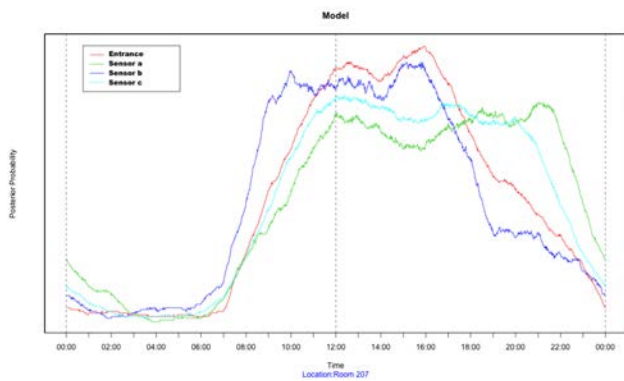


図 18 [長期] 前後 60 分の行動頻度を考慮した場合

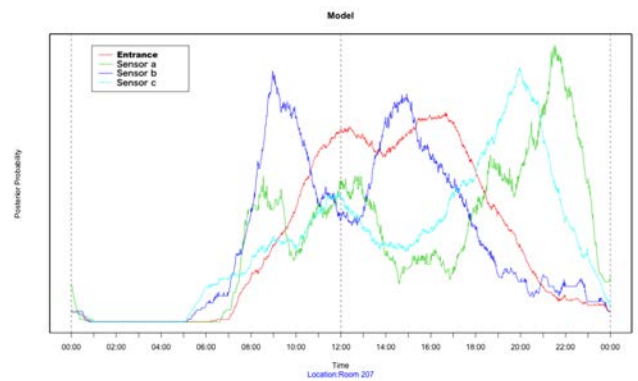


図 22 [短期] 前後 120 分の行動頻度を考慮した場合

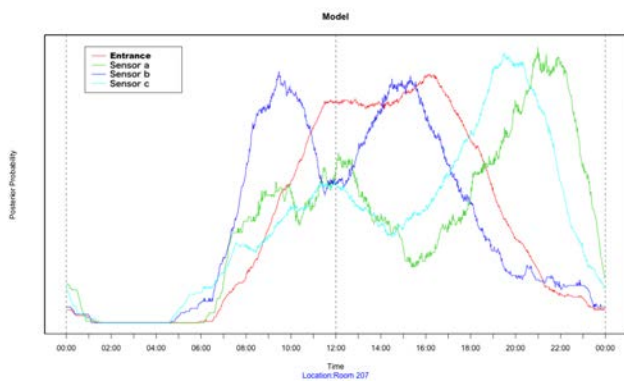


図 19 [短期] 前後 90 分の行動頻度を考慮した場合

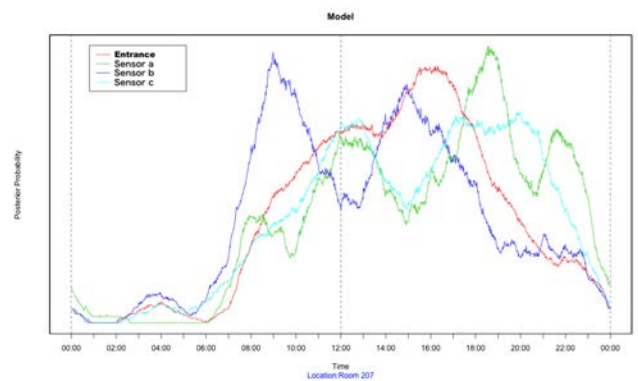


図 23 [中期] 前後 120 分の行動頻度を考慮した場合

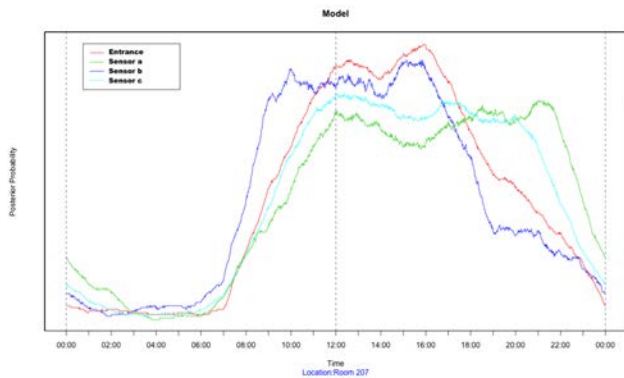


図 24 [長期] 前後 120 分の行動頻度を考慮した場合

ていることが見て取れる。また、中期データに関しては長期データと類似した特徴量になっているが、まだ完全ではない。蓄積データについては、研究室内の環境と一般の居住環境とを同一に論じることはできないため、設置箇所に応じて最適なデータ蓄積期間を選択する必要がある。

しかし、センサごとの特徴量も平均化されてしまうため、本来は行動頻度が低い時間帯にもかかわらず、行動頻度が比較的高く表示されたりといった不都合が生じる。例を挙げてみると、前後 15 分の行動頻度を考慮した結果 (図 ??) を見た場合、午前 9 時付近に一旦行動量が少なくなる時間帯が観測されるが、前後 30 分の行動頻度を考慮した結果 (図 15) では午前 9 時付近の特徴量データが平均して上がっていることがわかる。また、前後 60 分の行動頻度を考慮した結果 (図 18) を超えると、特徴量の変化が少なくなることもわかる。本結果より、研究室内の住民活動の場合前後 15 分～30 分程度の間隔を用いることが最適ということがわかった。

6. まとめと今後の課題

実験結果により、異常定義が可能な住民活動モデルの構築を行った。本結果により、従来は困難であった日常の中での異常が定義可能であることを示した。今後は、住民活動モデルによる異常検知システムの実装、住民活動ごとの最適な時間間隔の設定を行うことで日常の中での異常を通知するシステムとして実装をすすめていく。

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

[1] 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/>

[2] 青木 茂樹, 大西 正輝, 小島 篤博, 福永 邦雄, "独居高齢者の行動パターンに注目した非日常状態の検出", 電気学会論文誌 (E), vol.125-E, no.6, pp.259-265, June 2005

[3] 松岡 克典, "住宅内行動の長期蓄積に基づく以上検知手法の検討", 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.102,2003

[4] 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.

[5] 田中 仁, 中内 靖, "ユキタスセンサによる独居高齢者見守りシステム," 日本機械学会論文誌, No.75-760, 2009.

[6] 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大会講演論文集, Vol.122, 2000.

[7] 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/plan/kodate/>

[8] ALSOK 総合警備保障株式会社. "ホームセキュリティシステム", http://www.alsok.co.jp/person/hs_price.html

[9] Intel-GE Care Innovations, "Quiet Care", <http://www.seniorlifestyle.com/quiet-care.aspx>

[10] Takanobu Otsuka, Tatsunosuke Tsuboi, Takayuki Ito, "Prototyping and evaluation of a wireless sensor network that aims easy installation", THE 26TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL, ENGINEERING & OTHER APPLICATIONS OF APPLIED INTELLIGENT SYSTEMS, 2013.

[11] Varun Chandola, Arindam Banerjee, and Vipin Kumar, "Anomaly Detection: A Survey," Technical Report, Department of Computer Science and Engineering University of Minnesota, TR- 07-017, 2007.

[12] Kumar, V. 2005. Parallel and distributed computing for cybersecurity. Distributed Systems Online, IEEE 6, 2010.

[13] Spence, C., Parra, L., and Sajda, P. 2001. Detection, synthesis and compression in mammographic image analysis with a hierarchical image probability model. In Proceedings of the IEEE Workshop on Mathematical Methods in Biomedical Image Analysis. IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 3.

[14] Fujimaki, R., Yairi, T., and Machida, K. 2005. An approach to spacecraft anomaly detection problem using kernel feature space. In Proceeding of the eleventh ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery in data mining. ACM Press, New York, NY, USA, 401410.

[15] Janakiram, D., Reddy, V., and Kumar, A. 2006. Outlier detection in wireless sensor networks using bayesian belief networks. In First International Conference on Communication System Software and Middleware. 16.

[16] Du, W Fang, L., and Peng, N. 2006. Lad: localization anomaly detection for wireless sensor networks. J. Parallel Distrib. Comput. 66, 7, 874886.

[17] Chatzigiannakis, V., Papavassiliou, S., Grammatikou, M., and Maglaris, B. 2006. Hierarchical anomaly detection in distributed large-scale sensor networks. In ISCC '06: Proceedings of the 11th IEEE Symposium on Computers and Communications. IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 761767.

[18] Nitesh V. Chawla, Kevin W. Bowyer, Lawrence O. Hall, W. Philip Kegelmeyer, "SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique", Journal of Artificial Intelligence Research

[19] Rehan Akbani, Stephen Kwek, and Nathalie Japkowicz, "Applying Support Vector Machines to Imbalanced Datasets," Lecture Notes in Computer Science Volume 3201, 2004, pp. 39-50.16 (2002) 321357

[20] 大塚 孝信, 坪井 辰之助, 吉村 卓也, 伊藤 孝行, "設置が容易なワイヤレスセンサネットワークの試作と評価", JAWS2012 予稿集, 2012