卒業論文 2011年度(平成23年)

複数人感センサーの時系列データ処理による在室状態検知

慶應義塾大学 環境情報学部 学籍番号 70849920 横石 雄大 卒業論文要旨

2011年度 (平成23年度)

複数人感センサーの時系列データ処理による在室状態検知

赤外線を利用した人感センサーは安価であることや人の特定ができないという特徴により廊下,洗面所等の自動点灯・消灯用途に広く用いられている。ところが検出範囲が限定的なことや,人の"動き"を検知するという測定原理のため,教室や事務室などの大きさの部屋の在室状態検知に用いる際には、多数の人感センサーを配置せねばならない、という問題があった。

本論文ではパーティクルフィルタを用いて複数の在室状態を保持し、在室・不在を決定づけるセンサイベントが検出された場合にセンサーデータを時系列にさかのぼって、過去の在室状況を決定する方法を考案する。開発した在室状態検知アルゴリズムの妥当性を検証するために、慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス内のコンピュータ室に4つの人感センサーおよび照度センサーを設置し、IPネットワークで収集するセンサーネットワークシステムを構築し、蓄積したデータの分析エンジンとして提案手法を適用した。在室状態の目視データとの比較により、時系列データをさかのぼる時間を適切に調整することで、提案手法により在室状態、入室タイミング、退出タイミングを正確に推定できることが明らかとなった。さらに延べ4ヶ月分のセンサーデータを分析することにより、人がいないのに照明が付いたままになっている無駄な照明点灯時間が、1日あたり平均3.47時間程度あることを明らかにした

キーワード

1. センサーネットワーク, 2. 状況推定, 3. 人物検知

慶應義塾大学 環境情報学部 横石 雄大

Abstract of Bachelor's Thesis

Academic Year 2011

Detecting status of room using time-series data processing multiple motion sensors

Motion sensors using infrared rays are widely used in automatic switch for lights in corridors, washrooms and so on, because of its feature that are inexpensive or the inability to indentify people. But there was a problem that we have to arrange many motion sensors when we detect status of room in classrooms and offices, becase detection range is limited or the measurement principle for detecting only "human movement".

This thesis proposes a method which detect previous status of room by holding multiple status using particle filter and going back in time-seris sensor data when sensor detects an event which determins the status of room. In order to verify the validity of the status detection algorithm developed, we build sensor network system which works on IP network with four motion sensors and four illumination sensors in the computer room at Shonan Fujisawa Campus, Keio University, however we used the proposed method as an analysis engine of data accumulated. We found that estimation of status and timing of entrance and exit by appropriately adjusting the time-series data back in time by using proposed method was correct by comparison with watching the status. By analyzing the sensor data of a total of four months in addition, we made clear that the wasted time which lights on with no one in the room, was the average 3.47 hours per day.

Keywords:

1. Sensor Network, 2. Estimation, 3. Human Detection

Keio University , Faculty of Environment and Information Study
Takehiro YOKOISHI

目次

第1章	序論	1
1.1	背景	1
1.2	本研究の目的	2
1.3	本論文の構成	2
第2章	様々な状況における人物検知の必要性	3
2.1	在宅医療現場での在室把握	3
2.2	エネルギーマネージメント	3
2.3	食堂やバス停の混雑状況	4
2.4	本章のまとめ	5
第3章	既存研究	6
3.1	関連研究・製品	6
	3.1.1 カメラ	6
	3.1.2 人感センサー	7
	3.1.3 人による観測	7
3.2	既存手法の問題点....................................	7
	3.2.1 人物のトレースが可能	8
	3.2.2 単独でのセンサーの稼働	8
	3.2.3 人のリソース	8
3.3	本章のまとめ	8
第4章	情報収集システム	9
4.1	システム概要	9
4.2	実験利用機材	9
	491 センサーボード	Q

付	録₿	無駄時間の詳細	34
付	録A	状況推定結果	32
第	8章	結論	31
	7.3	無駄時間の計算・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	29
			27
			26
第	7章		2 6
	6.5	本章のまとめ	23
	6.4	無駄時間の計算・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
	6.3	パーティクル	
		6.2.2 人感センサー	22
		6.2.1 照度センサー	21
	6.2	センサーデータからの条件選択	21
	6.1	センサーの利用方法	21
第	6章	実装	21
	5.3	本章のまとめ	20
		5.2.3 今回の仮定	18
		5.2.2 センサーからの情報	18
		5.2.1 パーティクルフィルタ	17
	5.2	ステートモデル	16
	5.1	状況推定アルゴリズム	16
第	5章	アプローチ	1 6
	4.4	本章のまとめ	14
	4.3	実験環境	13
		4.2.4 WebApplication	13
		4.2.3 Gateway	11
		4.2.2 SinkNode	11

謝辞	37
参考文献	39

図目次

2.1	racow プロジェクト実験環境	4
3.1	歩行者感応式信号機	7
4.1	センサーデータ収集システム	10
4.2	センサーボード	10
4.3	SinkNode	11
4.4	Gateway	12
4.5	センサーデータの送信先を設定する XML 例	12
4.6	センサーデータ送信の際に利用される XML 例	13
4.7	特別教室の人感センサーの配置及びエリア	14
4.8	照度センサーの配置及び向き	14
4.9	特別教室に設置されたセンサーボード等	15
5.1	人感センサーの値の遷移	17
6.1	パーティクルを動かす全ての経路	23
6.2	条件 5.8 の時	24
6.3	条件 5.9 の時	24
6.4	条件 5.10 の時	25
6.5	条件 5.11 の時	25
7.1	ステートの確率変動	27
7.2	提案手法を用いて予想した各ステートの確率	28
7.3	提案手法を用て計算された無駄か時間	30

表目次

7.1	観察時間内に行われた動作一覧 $(11/11/11\ 10:40 \sim 11/11/11\ 10:50)$	26
7.2	観察時間内に行われた動作一覧 (1/19 11:09~11:30)	28
7.3	目視したイベントと推定手法を利用したイベントの対応	29
A.1	7.1 節で計算された各状況の確率	32
A.2	7.2 節で計算された各状況の確率	33
B.1	9月から11月の無駄時間のデータ	35
B.2	12月から1月の無駄時間のデータ	36

第1章 序論

1.1 背景

2011年3月11日,東日本大震災が発生した。そのなかで、地震に伴う複数の発電所の停止や送変電設備の被害が発生し、東京電力管内では電力不足になった。そのため、東京電力管内では、輪番停電や、鉄道会社の特別ダイヤによる運行が行われた。

実際に慶應義塾大学は、電気事業法第27条で定められる大口需要家であるため、『原則、 昨年の上記期間・時間帯における使用最大電力の値(1時間単位)の15%削減した値を使 用電力の上限とする』事が必要となった. [1]

学校での実際の対応として、空調の温度設定を制限したり、照明の15%~20%の削減を行った。しかし、教室に関しては、利用者が限られていない事もあり、照明が付いたままになっている状況が見受けられた。そのように照明が付いたままになっている状況があるため、その分の節電を他の箇所で行う必要が出てきてしまっているのが現状である。

今回の震災の影響による急に行われる節電に限らず、日本は、京都議定書で決められているとおり、 CO_2 の排出量を 1990 年に比べ、6%削減する必要がある。そのため、長期的にも節電は大きな課題になる。

一方で、センサーを利用した、人物検知が様々な所で行われている。センサーデータをグラフを利用し可視化する事で、人が見て状況を推定する事は容易にできる。例えば、夜に照明が消えていると人は誰もいない。と判断できる。しかし、実際のセンサーデータを人が常に監視して、部屋の状況を推定するのは、非効率である。

そこで、人の状況をセンサーデータを用い推測する事で、人がいないのに照明が付けっぱなしになっている時間を予想する事が可能にする手法を提案する.

1.2 本研究の目的

センサーデータは通常、人間が見て、状況を推定する事は可能だが、それを実際に考えられる全てのパータンを記憶させ、コンピュータで行うと複雑である.

その問題を解決するために、単純な場合分けのみを利用し、コンピュータがセンサーデータを用いて、人間と同じような判定を行うプログラムを作製し、実際に検証を行う。 その時に、人がいないのに照明が付けっぱなしになっている、"無駄な時間"の計算を行う。

1.3 本論文の構成

本論文は、8章から構成される。第2章では、筆者らの活動で人物検知が必要とされた 状況を述べる。第3章では、実際に人物検知を行っている製品・手法を述べ、それらの問題点を述べる。第4章では、実際に特別教室に設置した機材の構成、各機材の動作について述べる。第5章では、センサーデータの分析を行うためのアプローチを示し、第6章で実装について述べる。第7章で評価を行い、第8章で結論を述べる。

第2章 様々な状況における人物検知の必 要性

研究室で活動を行う中で、人のセンシングが様々な場面で必要となった。本章では筆者らが行ってきた研究の実例を取り上げ、在室状況推定の必要性について述べる。

2.1 在宅医療現場での在室把握

2010年度には、在宅医療に関わる研究を行った。在宅医療の患者が普段利用している薬箱にセンサーデバイスを取り付け、薬箱の開閉情報が遠隔で取得できるシステムを作成した。箱が開いている間、一定時間毎にセンサー情報の送信を行い、閉まった後に一定時間が経つと低消費電力モードになる。実際に実験を行うと、箱からの情報が受信できない事がたびたび発生した。しかし、遠隔で取得できる情報は、開閉情報だけであるため、「飲み忘れ」や「外出」、「センサーの故障」などを区別する事が出来なかった。看護師が服薬状況を把握する上に、飲み忘れか否かを判断する必要があるが、現状のシステムでは、把握する事が出来ない。

在室状況を把握できると看護師がより詳しい服薬状況を推測する事が出来るようになる。

2.2 エネルギーマネージメント

同じく、2010年度、所属している Auto-ID lab. では、racow プロジェクト [2] を行ってきた。このプロジェクトは、家電センサーネットワークを用い、環境負荷低減を目指すプロジェクトである。様々な家電とセンサーネットワークを利用し、実験環境の在室状況や、家電の稼働状況を取得した。

このプロジェクトの中で、実際に実験を行ったのは、図2.1の環境である。図中、青丸で書かれている箇所に人感センサーが設置してある。利用した人感センサーは、Panasonic

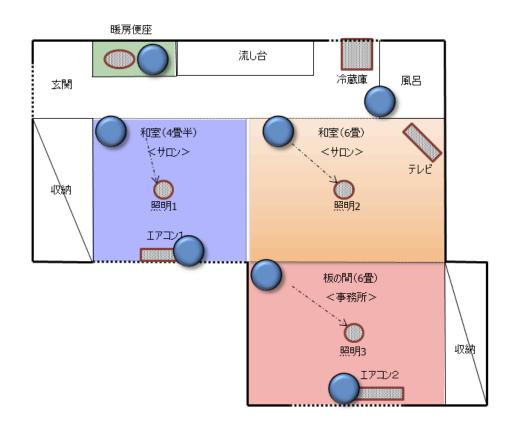


図 2.1: racow プロジェクト実験環境

社の NaPiOn という製品である。単位時間 (現在は1秒) 毎に周囲の温度情報を取得し、前の情報と違う回数を設定時間 (現在は60秒) ごとに報告する物である。

この人感センサーの値を用いると、トイレの中や廊下など、区切られた場所での人の有無は検知する事が出来た。しかし、その他の3部屋は仕切られていないため、実際に人がいる位置の特定は難しい事が分かった。つまり、各センサーの値と人物の場所の相関関係を導きだす事が出来ていない。この相関関係を導きだし、精度を高くする事が必要である。

実現できると、在室状況に応じた家電の制御が可能になり、エネルギーマネージメント が出来るようになる.

2.3 食堂やバス停の混雑状況

研究室で作業をしていると、食堂やバス停の混雑状況が分からない。例えば、研究室の 人たちで大人数で食堂に行く事が多く、食堂が混雑している事がある。他にも、バス停に 着いた際に長蛇の列に巻き込まれてしまう事がある。実際に混雑しているのが事前に分かれば、出前を頼んだり、時間をずらしたりなど、混雑を回避する事が可能である。しかし、現状では、情報が手に入らないため混雑を回避する事が出来ない。

これは、研究室での話を書いたが、一般に飲食店や公共交通機関にも当てはめて考える事が出来ると考える。一般に飲食店の混雑状況はインターネット上で、公開されていない。実際に店舗に行き、初めて混雑している事が分かる等がある。

公共交通機関でも、混雑を避けて、快適に移動する事も可能になる。実際に株式会社ナビタイムジャパンが行っているサービスに"電車混雑リポート"がある。[3] これは、実際のユーザからの投稿を元に各路線の混み具合を表示しているサービスである。多くのユーザが混雑状況を閲覧したり、実際の状況の投稿を行っている。

2.4 本章のまとめ

本章では、筆者らが研究活動する中で人物検知が必要になった具体例をあげた。次章では、実際に現状で行われている人物検知を行っている手法を挙げ、それらの問題点を述べる。

第3章 既存研究

本章ではセンサーを用いた人物検知を行っている既存手法について述べる.

3.1 関連研究・製品

既存手法として3つの例を挙げる.

3.1.1 カメラ

店内の混雑状況を離れた場所から把握する手法にカメラを設置する事が考えられる。この手法は、都心部の複数階にわたる店舗を構えるファーストフード店で用いられており、各階にカメラが設置されていて、カウンターのモニターに店内の様子を映し出している。この手法は、人物の有無の判断を人間に任せているため、カメラと表示するディスプレイだけが必要であり、簡易的なシステムで実現する事が可能である。

ファーストフード店だけではなく、自宅にネットワークカメラを設置する手法もある. Panasonic 社では、みえますねっとというサービスを行っている。[4] このサービスでは、自宅に設置したネットワークカメラの映像を遠隔から見る事が出来るサービスである。これを用いると自宅に誰がいるかを把握する事が出来る.

横断歩道で横断中の歩行者を検知し、青信号の時間を変動させる、歩行者感応式信号機 [5] も登場した。(図 3.1) この歩行者感応式信号機では、歩行者の状況を把握するのにカメラを用いている。カメラの映像の画像解析を行い、人物を認識し移動速度を計算する事によって、青信号の時間の調整を行っている。カメラや、PCの性能向上により画像解析の性能が上がっているため、人物検知が可能となっている。

このシステムを学食やバス停などで応用すると、遠隔から混雑状況を確認する事が出来るようになる.



図 3.1: 歩行者感応式信号機

3.1.2 人感センサー

人感センサーは日常生活の中で色々な場所で活用されている。例えば、トイレや自動ドアである。これらのセンサーはいろいろな場所で利用されていて、我々の生活から切り離せない。また、人感センサーを用いた照明器具もある。

3.1.3 人による観測

これは最も原始的な手法だが、最も確実な手法である。人が実際に監視対象となる場所に行き、どれくらい人がいるかを測定する方法である。

3.2 既存手法の問題点

3.1 節では、カメラを利用した画像解析を利用する手法と単独で活用されるセンサーを 用いる手法、そして人により観測する手法について述べた。それを利用し、混雑状況を把 握するシステムを構築する際に、下記のような問題点が挙げられる。

- 人物のトレースが可能
- 単独でのセンサーの稼働
- 人のリソース

3.2.1 人物のトレースが可能

現在、画像解析と一つとして、人物認識の技術がある。実際に google の Picasa[?] や、Apple の iPhoto[6] の機能の一つであり、一般の人も利用可能である。これらのサービスでは、画像解析を行い、特定の人物が写っている写真を選ぶ事が可能である。この技術を用いると、人物の居場所を特定する事やその人物の行動履歴をさかのぼる事が可能となる。

実際にユーザがレストランの混雑状況を把握するには、"誰が食事をしている"という情報では無く、"誰かが食事をしている"という情報だけが必要である。しかし、カメラを用いているため、不必要な情報を取得してしまう。

カメラを用いた手法は、人の様子を把握する目的に適している手法であるが、人の様子だけを把握する目的に最適な手法ではない.

3.2.2 単独でのセンサーの稼働

自動ドアや照明器具を取っても分かるように、人感センサーは、単独で用いられている のが大半である。

3.2.3 人のリソース

状況を把握する手法として人による監視をあげたが、一番非現実的な方法である。ある 部屋の中の状況を人が記録する事は、監視対象となる人数が多くなる。それにも関わら ず、得られる情報は限られる。

3.3 本章のまとめ

本章では、我々の身近にある人物検知の既存手法とそれらの問題点について述べた。 次章では本研究で用いた情報収集システムについて述べる。

第4章 情報収集システム

本章では本研究で用いているセンサーデータ収集システムの説明及び、本研究で行った 実験概要について述べる。本研究では、実環境で試験を行うために SFC の特別教室に機 材を設置し、データの収集を行った。

4.1 システム概要

今回のシステムは、2010年度の racow プロジェクトで制作したシステムを活用してセンサーデータの収集を行っている。

今回の特別教室における、センサーデータ収集システムを図4.1で示す。

このシステムでは、センサーボードが ZigBee を利用し、Sink Node にデータを送信する。そして、Sink Node が Serial を利用し、Gateway の Alix サーバにデータを送信する。Gatway は Serial からのデータを受信すると、事前に登録された宛先に対し、データをXML で送信する。そして、この XML データを WebApplication が受信し、データベースに蓄積する。

4.2 実験利用機材

今回利用した機材について述べる.

4.2.1 センサーボード

センサーボードは racow プロジェクトで制作した物を利用している。その様子を図 4.2 に示す。

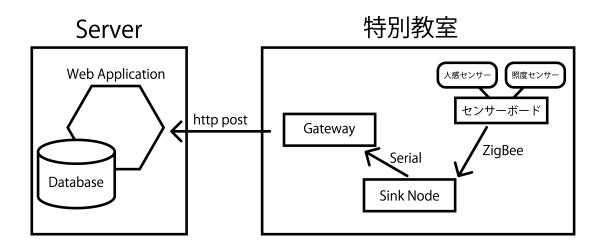


図 4.1: センサーデータ収集システム



図 4.2: センサーボード

このボードには、個別識別 ID が書き込まれている。それを利用する事でボードの識別情報をパケットに載せる事が可能となる。また、各種センサーの接続が可能で、その情報の送信が出来る。

センサーボードは定期的に情報を SinkNode に向けて送信する。その情報には下記センサーデータが含まれている。

- 照度センサー 測定範囲:0~65535[Lx] (最小単位:4[Lx])
- 温度センサー (単位:[°C]) (最小単位:1[°C])
- ◆ 人感センサー 検出時間 (単位:[sec]) 未検出時は0となる

今回の実験では、外部接続のセンサーとして、人感センサーと照度センサーを利用している。 人感センサーは Panasonic 製の AMN41122[7] を、照度センサーは ROHM 製の BH1715FVC[8] をそれぞれ利用している。

このセンサーボードは、XBeeを利用して、外部との通信を行っている。



☑ 4.3: SinkNode

4.2.2 SinkNode

SinkNode は、センサーボードで利用されている XBee と Gateway で利用されている Serial 間の変換を行っている。実際の SinkNode の様子を図 4.3 で示す。SinkNode では、センサーボードから送られてくる情報を加工し、Serial 通信によって、Gateway に情報を転送する。

利用している機材は、Digi 社の ConnectPort X4[9] である.

4.2.3 Gateway

Gateway は、センサーボードからのデータを受け取り、事前に登録してある宛先にデータを転送する。設置してある Gateway の様子を図 4.4 で示す。Gateway には、下記機能がある。

- 事前に送り先を登録する
- センサーボードに対してコマンドを送る
- センサーボードからのデータを登録された宛先に送る

Gateway へ送信先を設定するには、XMLのデータを送信する事で実現している。その XML データを図 4.5 で示す。

リクエスト ID は、センサーボードに対しての転送をリクエストする際の識別番号になる。SinkNode が指定した識別 ID を持つセンサーボードに対してデータ転送リクエストを送り、その結果を通知先 URL に送る。



図 4.4: Gateway

図 4.5: センサーデータの送信先を設定する XML 例

その後、センサーボードからのデータを定期的に受信すると、そのデータを送信先 URL に対し、登録 ID を付加して送る。その際にデータは、XML 形式で送られており、例を図 4.6 に示す。識別番号、登録 ID、センサーデータの3つが定期的に送られるデータに含まれている。

センサーデータは送られる XML 内の data タグの CDATA セクションに書かれている。 その中で、{ "lastrow":[照度, 温度, 人感]} とセンサーデータが CSV 形式で含まれている.

```
POST http://www.sample.com/識別ID
</rwnl version="1.0" encoding="UTF-8"?>
</message>
</command>notify</command>
</subscriptionID>登録 ID</subscriptionID>
</data><![CDATA[{"lastrow":[16283,504,0]}]]></data>
</message>
```

図 4.6: センサーデータ送信の際に利用される XML 例

4.2.4 WebApplication

WebApplication は、Gateway から送られてくるデータを保存している。XML を受信し、その解析を行い、主に、下記項目をデータベースに登録している。

- 受信日時
- 識別 ID
- 登録 ID
- センサーデータ

4.3 実験環境

この研究では、実際に特別教室にセンサーを設置した。人感センサーと照度センサーの配置図をそれぞれ図 4.7 と図 4.8 に配置等を示す。

図4.7で示した人感センサーのエリアは、仕様書に書かれている大きさに表示している. しかし、動作の大きさ等で検知できる範囲は変化するため、移動している人を検知するエリアはこれよりも少し大きい.

図4.8では、照度センサーの方向を示している。図中、左上のセンサーは、窓の方向に取り付け、ブラインドの開閉状況の推定に利用している。他のセンサーは、特別教室内の照明に向けて設置してあり、系統毎に使用状況を取得する目的で設定している。

図4.9に実際に特別教室に設置したセンサーボード等を示す.

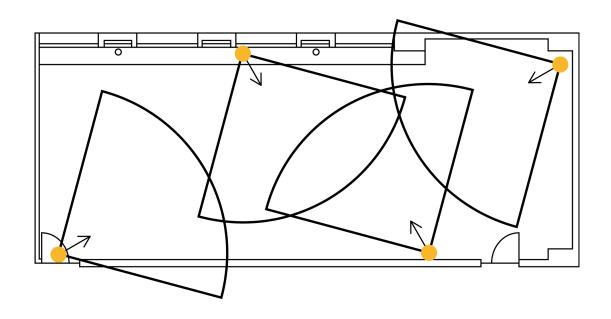


図 4.7: 特別教室の人感センサーの配置及びエリア

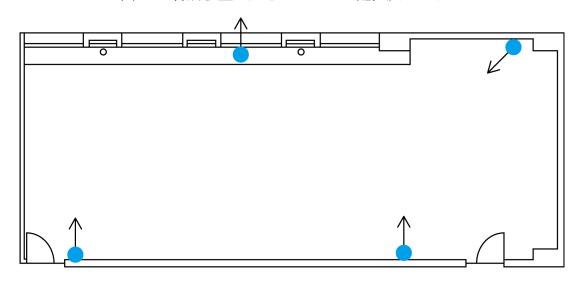


図 4.8: 照度センサーの配置及び向き

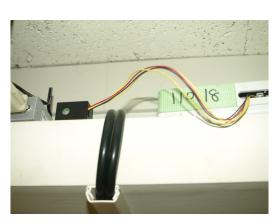
4.4 本章のまとめ

本章では特別教室に設置したセンサーネットワークの構成と各機材の機能の説明を述べた.

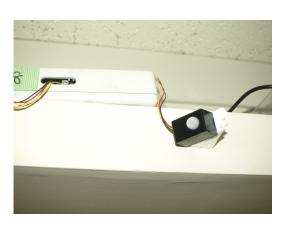
次章では実際に取得できるセンサーデータを利用し、在室状況を推定する手法について 述べる.



(a) 設置されたセンサーボード



(b) 照度センサーの様子



(c) 人感センサーの様子



(d) 設置された機材の全体像

図 4.9: 特別教室に設置されたセンサーボード等

第5章 アプローチ

本章では、今回実装したセンサーデータの分析におけるメインアイディアである、ステートモデルの利用とパーティクルフィルタについて述べ、実際に今回のセンサーを利用した場合に、取得できる状況を整理する.

5.1 状況推定アルゴリズム

3章で述べた既存手法の一つでは、人物認識をカメラを用いる事で実現している。しかし、カメラを用いている事で人々に不安が生じる可能性が考えられる。

この研究では、カメラを用いず、人物の認識を行うシステムの開発を目的とする。一つのセンサーでは高い精度の情報を得る事は難しい。そこで、複数のセンサーを用いる事で、より高精度なコンテキストの抽出を行う。

昨年, racow プロジェクト内で行った実験では,7つの人感センサーから値を取得している。その実験で得られた人感センサーの値のグラフを示す。(図 5.1) この値からセンサーの値の16%程度をしきい値とした2値と,実際に実験環境の中のどこに人がいたかとを比較し,各センサーへの重み付けを行った。その結果,約35%程度の精度でしか,全体の在室状況を推測する事が出来なかった。

5.2 ステートモデル

本節では今回の状況推定に用いるステートモデル及びパーティクルフィルタについて述べる。実際に今,部屋がどのような状況に置かれているのかを常に断言する事は難しい。まして,今回の実験環境のように,設置場所が限られている少ないセンサーのデータから推定するのは難しい。

そこで、今回は、パーティクルフィルタを用いて状況推定を行った。

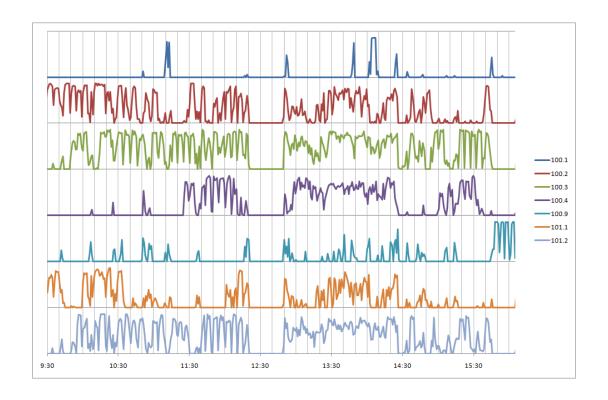


図 5.1: 人感センサーの値の遷移

5.2.1 パーティクルフィルタ

パーティクルフィルタとは、パーティクル (粒子) を状況に応じて移動させていき、一番パーティクルが残っている状況が正しいと判断する手法である.

今回の実装では、下記4つのステート (状況) 間でパーティクルを移動させ、断定できる状況の際に他の状況にあるパーティクルを捨てる方法を取った。

- 人もいなく、電気も消えている。
- 人がいるが、電気が消えている.
- 人がいないが、電気が付いている.
- 人がいて、電気が付いている.

上記4つのステート間でパーティクルを移動させる事で状況の推定をしている。推定対象となる特別教室内に設置したセンサーからの情報をサーバで受信した時に、受信したセンサーのデータに応じてパーティクルを移動させている。

5.2.2 センサーからの情報

センサーの情報をそのまま利用する事は難しい。また、センサー情報をそのまま利用する事は計算を複雑にすると考え、ここでは、各センサーから取得できる値をどのように考えるかを各状況においてどのように考えるかを下記で述べる。

ある時点でのセンサーの値から推定できる事

単独のセンサーを用いた場合に、環境から下記の事が分かる。

人感センサーに反応がある.
$$\Rightarrow$$
 人が部屋にいる. (5.3)

また、同じセンサーを複数組み合わせる事で、環境から下記の事が分かる。

今回利用している、照度センサー、人感センサーを組み合わせて用いても、確実に断言できる事は、上記の事だけである.

センサーの値の変化から推定できる事

センサーの変化を利用すると状況が推定できる事がある.

5.2.3 今回の仮定

今回の状況推定では、下記条件に基づいて実装を行った.

照度センサー

照度センサーに関しては、下記条件を仮定した.

一つでも照度が高い状態から変化しない. ⇒ 電気が付いたまま. (5.10)

全ての照度が低い. ⇒ 電気が消えたまま. (5.11)

人感センサー

照度センサーに関しては、下記条件を仮定した.

センサーの反応が低い. ⇒ 空間内に人はいるが,

センサーの反応が高い、⇒ 空間内に人がいて、

今回の実装では、照度センサーに関わる条件 5.8 から条件 5.11 と人感センサーに関わる 条件 5.12 から条件 5.14 を組み合わせ、特別教室内で変化が起きている事が言える下記組 み合わせを利用した。

- 電気が消えたとき (条件 5.8)
 - 人の動きが検知されない (条件 5.12)
 - 人の動きが少し検知される (条件 5.13)
 - 人の動きが大きく検知される (条件 5.14)
- 電気が付いたとき (条件 5.9)
 - 人の動きが検知されない(条件 5.12)
 - 人の動きが少し検知される (条件 5.13)

- 人の動きが大きく検知される (条件 5.14)
- 電気が付けたままのとき (条件 5.10)
 - 人の動きが検知されない (条件 5.12)
 - 人の動きが少し検知される(条件5.13)
 - 人の動きが大きく検知される (条件 5.14)
- 電気が消えたままのとき (条件 5.11)
 - 人の動きが検知されない (条件 5.12)
 - 人の動きが少し検知される(条件 5.13)
 - 人の動きが大きく検知される (条件 5.14)

5.3 本章のまとめ

本章では、今回実装したセンサーデータの分析における、メインアイディアである、ステートモデルの利用とパーティクルフィルタについて述べ、実際に今回のセンサーを利用した場合に、取得できる状況を整理した。次章では、センサーデータの分析の実装について述べる。

第6章 実装

今回の分析は、パーティクルフィルタを利用し、ステートモデルを動かす事で、現在の特別教室内の状況推定を行った。その際に、考えられるパラメータが複数あるため、それについて述べる。

6.1 センサーの利用方法

今回利用したセンサーでは、下記の事が言えない.

- 人がいない事
- 照明が付いている事

そのため、人感センサーで反応がない時には、人がいるかいないか分からないと、照度 センサーが高い時には、電気が付いていると仮定した。

6.2 センサーデータからの条件選択

センサーの情報から部屋の状況推定をするために過去のセンサーデータを利用している。

6.2.1 照度センサー

照度センサーでは、受け取った最新のセンサー情報と直前のセンサー情報を利用している.

初めに、全てのセンサーの直前のデータを参照し、直前の教室内の電気の状況を取得する。そして、受け取った最新のセンサー情報と同じ識別番号のセンサーの直前のデータと 比較し、付いた。または、消えた、と電気の変化の状況を取得する。

ここで得られた直前の電気の状況と電気の変化の状況を組み合わせ、条件 5.8 から条件 5.11 までの 4 パターンに分けている.

6.2.2 人感センサー

人感センサーは、一つでカバーできるエリアが限られている。さらに、人の動きが全くないと、全く反応しないため、照度センサーと同様に直前のデータのみを利用すると、頻繁にステートが変化してしまう。

そのため、今回の実装では、さらに前のデータも利用している。しかし、あまり前の データを利用すると、人が退出した後も、人がいると推定してしまう。

その上で、センサーの値を value、各センサー毎に定めたしきい値を limit としたときに value >= limit となった数、value > 0 となった数をそれぞれ数え、下記条件で、人感センサーを条件 5.12 から条件 5.14 までの 3 パターンに分けている。

- 一つでも limit 以上のセンサーがある。⇒ 大きく動いた。(条件 5.14)
- 全てのセンサーに反応がない。⇒人がいるかいないか不明。(条件 5.12)
- 上記2つ以外 ⇒ 小さく動いた. (条件5.13)

6.3 パーティクル

ステートは、全部で4つあるため、考えられる全ての通りは、図6.1で表せる。

5.2.3節で述べた条件に基づいて、実際にパーティクルを動かす方向を図 6.2 から図 6.5 で示すように定めた。なお、複数本、矢印が出ている物に関しては、ランダムにパーティクルを同じ数動かすようにした。

また、パーティクルフィルタは利用する過程でパーティクルの数が減る。あるタイミングでパーティクルを補充する必要がある。

6.4 無駄時間の計算

今回の実装では、各パーティクルは選択された経路を記録している。その中から"人がいるが、電気が付いている"状況の期待値から無駄時間を計算した。

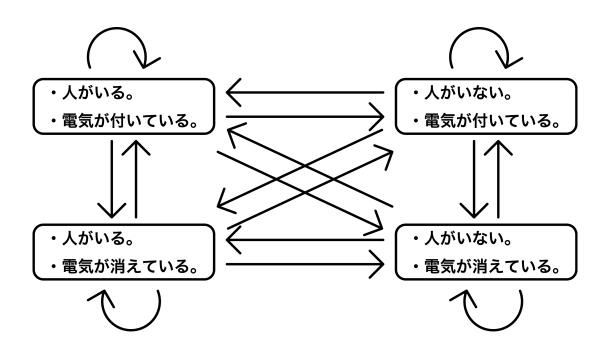


図 6.1: パーティクルを動かす全ての経路

6.5 本章のまとめ

本章では、提案手法を実現するために作製した実装について述べた。次章では、実際の データを用いて分析を行い、その評価について述べる。

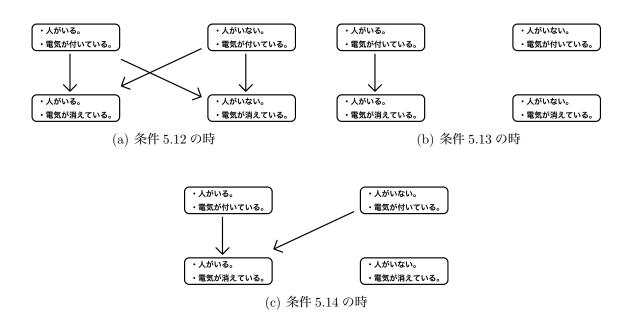


図 6.2: 条件 5.8 の時

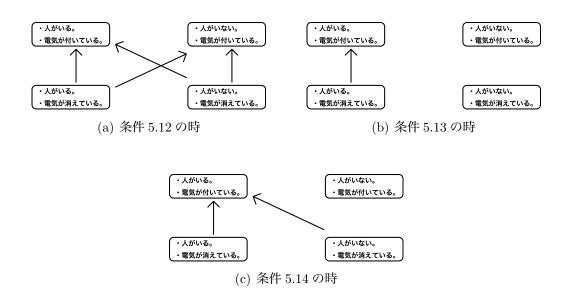


図 6.3: 条件 5.9 の時

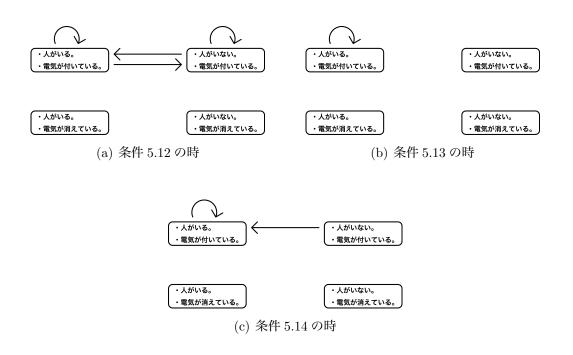


図 6.4: 条件 5.10 の時

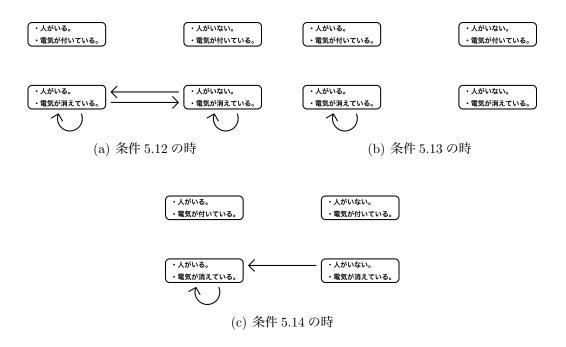


図 6.5: 条件 5.11 の時

第7章 評価

本章では実際に分析を行った方法とその評価について述べる.

提案する分析手法を用いてセンサーデータから計算された状況と実際に特別教室の様子 を目視し得られた状況との比較を行う。

今回は、下記2つの事象について検証した.

ステートに大きな変化が確認された事象

誰もいない部屋に利用者が一人, 入退室をした.

ステートに大きな変化が確認されない事象

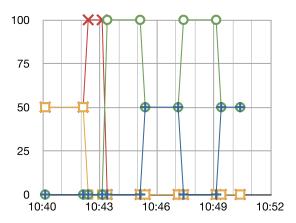
複数の人が作業をしており、人が不在の状況が無い.

7.1 ステートに大きな変化が確認された事象

実際に人がいない状況での出入りがあったデータの分析を行う。この際には、一人の利用者が特別教室に入退室した。分析には、11/11/11 10:40 から 11/11/11 10:50 の 10 分間のデータを用いる。この期間で起きた事を表 7.1 に示す。また、この期間における提案手法による、各ステートにいる確率を図 7.1 に示す。

表 7.1: 観察時間内に行われた動作一覧 (11/11/11 10:40~11/11/11 10:50)

時刻	実際に起きた変化
10:42 以前	電気が点灯かつ人が不在
10:42 頃	入室
10:43 頃	消灯
10:45 頃	退室
10:47 頃	入室



- + 人もいなく,電気も消えている.
- ◆ 人がいるが,電気が消えている.
- □ 人がいないが.電気が付いている.
- ★ 人がいて,電気が付いている.

図 7.1: ステートの確率変動

この表と図の比較を行うと実際に観察されたタイミングと同時に提案手法のステートも変化している事が伺える。このことから、提案手法を利用した事で状況の推定が可能である事が言える。

7.2 ステートに大きな変化が確認されない事象

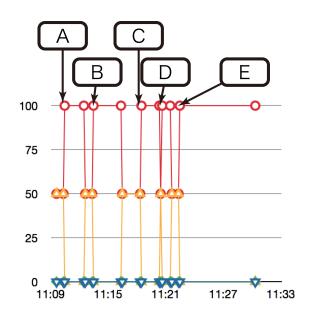
人が特別教室内で作業中で、人がいるステートから変化が起こらない区間を対象として 比較を行う。比較対象とした時間は、1/19 11:00 から 12:00 と 1/19 13:10 から 14:45 の間 とした。

対象とした時間は、合計 2 時間 35 分であるが、その中で、1/19 11:09 から 11:30 のデータのみに注目する。実際に特別教室内でこの時間内に行われた事象のうち、視認可能であった物を表 7.2 に示す。また、この期間における提案手法による、各ステートにいる確率を図 7.2 に示す。この確率の図では、過去 1 分以内の人感センサーの値のみを利用した物である。人の動きがこの範囲内で検知されない際には、電気が付いているが、人がいるかいないか分からない状況と推定される。その後、人がいたと判定した箇所を A から E とした。

センサーボードでは、過去1分以内にエリア内で検知された秒数を1分毎に送っている。 そのため、実際に動いてからデータベースに届くまで、1分以内の誤差が出る。その前提

2. [2] (1/10 11:00 1					
ID	時刻	実際に行われた動作			
1	11:09:44	プリンタの利用			
2	11:10:48	後方より退室			
3	11:13:01	後方より入室 (プリンタの利用)			
4	11:13:24	後方より入室			
5	11:14:00	後方より退室			
6	11:18:10	座席にて首を動かす			
7	11:21:03	座席にて伸びを行う			
8	11:24:39	前方より入室			
9	11:25:55	後方より入室			
10	11:27:42	後方より退室			

表 7.2: 観察時間内に行われた動作一覧 (1/19 11:09~11:30)



- ▼ 人もいなく,電気も消えている.
- ◆ 人がいるが,電気が消えている.
- ▲ 人がいないが,電気が付いている.
- ◆ 人がいて,電気が付いている.

図 7.2: 提案手法を用いて予想した各ステートの確率

の元,比較した結果を表7.2に示す。

この範囲において、図 7.2 内の A から E までの事象に当てはる動きが全て検知されている。また、A から E は、提案手法で検知したステートが変化した場所である。それ以外の視認した動きは、人がいると考えられていた箇所で発生している。そのため、過去 1

分以内のデータを利用するだけでも、特別教室の状況の推定が可能であると言える.

表 7.3: 目視したイベントと推定手法を利用したイベントの対応

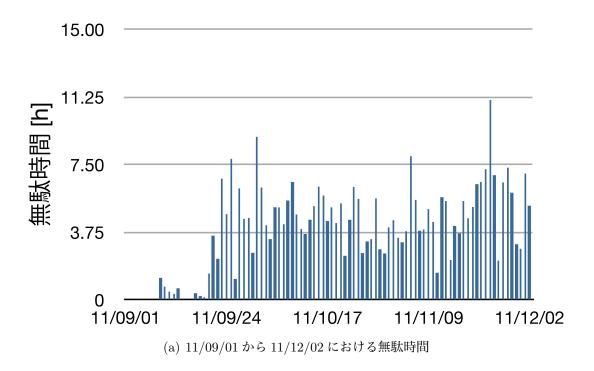
表 7.2 の動き	図 7.2 内の動き
1	A
3	В
6	С
7	D
8	E

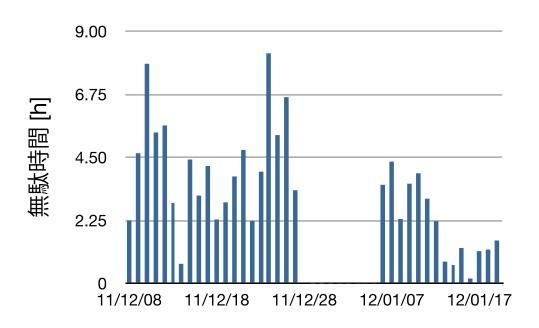
目視した結果を全て考慮した場合、約88%の精度で推定する事が出来た。精度が少なくなっている原因は、過去1分分のデータのみを利用している事である。そのため、ステートが頻繁に変わっ手島っているために、推定の精度が低くなっている。

そこで、状況推定の精度をあげるために、過去のデータをさかのぼる事を考える。今回の区間では、過去4分以内のデータを利用した場合、ステートが頻繁に変化する現象を抑える事が出来、状況推定の精度を100%まで上げる事が出来た。

7.3 無駄時間の計算

7.1節と7.2節では、提案手法による状況推定が可能である事を示した。その推定された 状況から無駄時間の計算を行い、その結果を7.3に示す。平均してみると1日あたり、約 3.47時間程度無駄になっていると推測できる。





(b) 11/12/08 から 12/01/19 における無駄時間

図 7.3: 提案手法を用て計算された無駄な時間

第8章 結論

赤外線を利用した人感センサーを教室など広い場所の在室状態の検知に用いるためには、読み取りエリアの制限や、人の"動き"を検知するという測定原理のため多数のセンサーが必要となる。しかし、複数の人感センサーデータを時系列にわかって総合的に分析することで、時系列をさかのぼって、在室・不在状況を特定することができる。たとえば、人感センサーの不感ゾーンに人がいても、退出するタイミングをセンスできれば、それまで在室していたと決定できる。この場合、ある時点でのセンサーデータだけでは複数の状態候補が存在することになる。パーティクルフィルタを用いることで複数の状態候補を保持し、在室を決定づけるセンサーイベントが検出された場合にパーティクルを選択・再配置し、過去にわかって在室状態を決定することができる。慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス内のコンピュータ室に4つの人感センサーおよび照度センサーを設置し、IPネットワークで収集するセンサーネットワークシステムを構築し、蓄積したデータの分析エンジンとして提案手法を適用し、目視データとの比較により提案手法が正確に状態を推定できることを明らかにした。また、約4ヶ月の測定データを提案手法で分析することにより、実験を行ったコンピュータ室における不在時の照明点灯時間は1日あたり、平均3.47時間程度あることが明らかとなった

付 録 A 状況推定結果

提案手法を利用し、状況推定を行った結果のうち、変化があった箇所のみを示す。表 A 内の状況 A から状況 D まではそれぞれ下記通りである。

状況 A 人もいなく、電気も消えている.

状況 B 人がいるが、電気が消えている.

状況 C 人がいないが、電気が付いている.

状況 D 人がいて, 電気が付いている.

表 A.1: 7.1 節で計算された各状況の確率

時刻	状況 A	状況 B	状況 C	状況 D
2011-11-11 10:19:07	0	0	50	50
2011-11-11 10:42:24	0	0	0	100
2011-11-11 10:43:24	0	100	0	0
2011-11-11 10:45:24	50	50	0	0
2011-11-11 10:47:25	0	100	0	0
2011-11-11 10:49:24	50	50	0	0
2011-11-11 10:53:24	0	100	0	0
2011-11-11 10:54:24	50	50	0	0

表 A.2: 7.2 節で計算された各状況の確率

時刻	状況 A	状況 B	状況 C	状況 D
2012-01-17 10:59:17	0	0	0	100
2012-01-17 10:59:24	0	0	50	50
2012-01-17 11:01:24	0	0	0	100
2012-01-17 11:09:34	0	0	50	50
2012-01-17 11:10:25	0	0	0	100
2012-01-17 11:12:34	0	0	50	50
2012-01-17 11:13:25	0	0	0	100
2012-01-17 11:16:25	0	0	50	50
2012-01-17 11:18:25	0	0	0	100
2012-01-17 11:20:25	0	0	50	50
2012-01-17 11:20:35	0	0	0	100
2012-01-17 11:21:35	0	0	50	50
2012-01-17 11:22:25	0	0	0	100
2012-01-17 11:31:25	0	0	50	50
2012-01-17 11:31:35	0	0	0	100
2012-01-17 11:34:25	0	0	50	50
2012-01-17 11:35:17	0	0	0	100
2012-01-17 12:18:19	0	0	50	50
2012-01-17 12:19:19	0	0	0	100
2012-01-17 12:31:19	0	0	50	50
2012-01-17 12:32:27	0	0	0	100
2012-01-17 12:39:27	0	0	50	50
2012-01-17 12:39:58	0	0	0	100
2012-01-17 13:09:28	0	0	50	50
2012-01-17 13:10:59	0	0	0	100
2012-01-17 13:19:20	0	0	50	50
2012-01-17 13:19:59	0	0	0	100
2012-01-17 13:41:00	0	0	50	50
2012-01-17 13:42:00	0	0	0	100
2012-01-17 13:44:00	0	0	50	50
2012-01-17 13:47:00	0	0	0	100
2012-01-17 13:55:01	0	0	50	50
2012-01-17 13:56:00	0	0	0	100
2012-01-17 13:58:00	0	0	50	50
2012-01-17 13:59:00	0	0	0	100
2012-01-17 14:20:39	0	0	50	50
2012-01-17 14:21:29	0	0	0	100

付 録B 無駄時間の詳細

7.3節で紹介したグラフの元のデータを表Bに示す.

表 B.1: 9月から 11月の無駄時間のデータ

日付	無駄時間 [h]	日付	無駄時間 [h]	日付	無駄時間 [h]
11/09/01	0.00	11/10/01	543.09	11/11/01	265.75
11/09/02	0.12	11/10/02	374.07	11/11/02	207.02
11/09/03	0.08	11/10/03	248.95	11/11/03	192.14
11/09/04	0.07	11/10/04	202.56	11/11/04	229.06
11/09/05	0.05	11/10/05	308.81	11/11/05	478.57
11/09/06	0.05	11/10/06	308.35	11/11/06	333.07
11/09/07	0.04	11/10/07	251.99	11/11/07	230.52
11/09/08	0.03	11/10/08	331.01	11/11/08	234.60
11/09/09	73.80	11/10/09	392.73	11/11/09	302.55
11/09/10	44.32	11/10/10	284.66	11/11/10	259.77
11/09/11	27.70	11/10/11	236.00	11/11/11	90.89
11/09/12	20.16	11/10/12	219.66	11/11/12	342.24
11/09/13	38.85	11/10/13	267.35	11/11/13	329.31
11/09/14	0.19	11/10/14	312.19	11/11/14	133.17
11/09/15	0.00	11/10/15	377.26	11/11/15	246.39
11/09/16	0.00	11/10/16	347.69	11/11/16	221.90
11/09/17	22.52	11/10/17	262.84	11/11/17	329.52
11/09/18	13.08	11/10/18	308.25	11/11/18	272.03
11/09/19	9.21	11/10/19	256.06	11/11/19	309.65
11/09/20	87.91	11/10/20	321.66	11/11/20	385.61
11/09/21	213.99	11/10/21	147.20	11/11/21	392.88
11/09/22	137.40	11/10/22	267.11	11/11/22	435.29
11/09/23	403.69	11/10/23	376.19	11/11/23	665.86
11/09/24	285.74	11/10/24	336.47	11/11/24	415.36
11/09/25	469.64	11/10/25	156.23	11/11/25	131.11
11/09/26	69.97	11/10/26	195.02	11/11/26	391.31
11/09/27	371.56	11/10/27	202.64	11/11/27	440.66
11/09/28	269.87	11/10/28	337.96	11/11/28	357.07
11/09/29	272.92	11/10/29	168.93	11/11/29	185.42
11/09/30	157.11	11/10/30	154.81	11/11/30	170.61
		11/10/31	241.79		

表 B.2: 12月から1月の無駄時間のデータ

日付	無駄時間 [h]
11/12/01	420.90
11/12/02	314.09
11/12/08	154.59
11/12/09	319.78
11/12/10	54.92
11/12/07	0.00
11/12/08	134.94
11/12/09	278.86
11/12/10	470.54
11/12/11	323.13
11/12/12	338.44
11/12/13	172.34
11/12/14	41.89
11/12/15	265.30
11/12/16	188.09
11/12/17	251.47
11/12/18	136.79
11/12/19	173.51
11/12/20	229.03
11/12/21	285.83
11/12/22	133.70
11/12/23	239.28
11/12/24	492.97
11/12/25	317.68
11/12/26	398.96
11/12/27	199.41
11/12/28	2.19
11/12/29	1.17
11/12/30	0.91
11/12/31	0.69

日付	無駄時間 [h]
12/01/01	0.56
12/01/02	0.47
12/01/03	0.40
12/01/04	0.35
12/01/05	0.35
12/01/06	211.22
12/01/07	260.75
12/01/08	138.03
12/01/09	213.61
12/01/10	235.78
12/01/11	181.50
12/01/12	133.13
12/01/13	46.62
12/01/14	39.27
12/01/15	75.81
12/01/16	10.34
12/01/17	69.01
12/01/18	72.36
12/01/19	91.80

謝辞

本論文執筆にあたり御助言を頂きました,慶應義塾大学環境情報学部教授 村井純博士,同教授 中村修博士,同准教授 楠本博之博士,同専任講師 Rodney D. Van Meter III 博士,同准教授 植原啓介博士,同教授 武田圭史博士に感謝いたします.

また、研究について日頃から御指導頂きました、慶應義塾大学環境情報学部准教授 三次仁博士、政策メディア研究科特任講師 羽田久一博士、同特任助教 中根雅文氏、慶應義塾大学インフォメーションテクノロジーセンター本部助教 鈴木茂哉氏、神奈川工科大学情報学部情報工学科准教授 稲葉達也博士に感謝いたします。特に三次仁博士には、学部二年次に研究室に所属して以来様々な研究を支えていただきました。本論文においても、最後の最後まで手取り足取り指導してくださり、本当にありがとうございます。この場を借りて深く御礼申し上げます。

Auto-ID Lab. にてお世話になりました,慶應義塾大学 SFC 研究所 松本伸史氏,株式会社日放電子 白石雅彦氏に感謝いたします。また,研究生活を共にした,神谷尚保氏,佐藤泰介氏,佐藤龍氏,金仙麗氏,田村哲郎氏,江村桂吾氏,山田真弘氏,広石達也氏,富田千智氏,斉藤俊氏,能島良和氏,鈴木詩織氏,杉本健一氏,山口修平氏,米村茂氏,宮崎圭太氏,佐藤友紀氏,Doan Hoai Nam 氏,吉田守氏,五十嵐祐貴氏,三樹良亮氏,内山貴博氏,小薗宏樹氏,清水真有氏に感謝いたします。また,徳田・村井・楠本・中村・高汐・バンミーター・植原・三次・中澤・武田合同研究プロジェクトの皆様に感謝いたします。

また,のべ904名 (2012年1月21日調べ)の"どかろぐ"[10]の読者の皆様,物好きにも食べ物の写真しか載っていないブログにわざわざアクセスしてくださいましてありがとうございます。そして、様々なおいしいご飯で楽しませてくださったスタバ様,つるとんたん様,とらや様,ニューオリ様,牛角様,アンゼリカ様,モルティブ様,ペルーフェス様,一蘭様,にくまき本舗様,みんなのめしや様,まるたか様,居酒屋いくなら俺んち来る?様,paradorina様,安芸もみじ亭様,HUB様,男のらーめん様,菜香園様,二郎様,ローソン様,学食様,サブウェイ様,カレーハウス11イマサ様,ピザーラ様,カント

リーコテージ様、らーめん陸様、ドトール様、蒙古タンメン中本様、レディバード様、王将様、松屋様、お弁当の八田様、鴨南蛮様、リトルマーメイド様、荻野屋様、信州松代ロイヤルホテル様、生協様、川端様、梓川 SA 様、えこひいき様、八田様、おぐう様、伊藤園様、小林屋様、オッと屋様、頭様、まつりや様、ゴーゴーカレー様、マルス様、吉祥寺どんぶり様、真鍋家様、長浜や様、夢民様、匠屋様、銀のあん様、31 アイスクリーム様、ニックンロール様、まつり家様、麺やぼくせい様、肉煮干し中華そばさいころ様、万里城様、らすた様、バーガーキング様、ごんぱち様、ざんまい様、シュクリア様、支那そばやまいち様、韓国食堂様、宗平様、伝説のすた丼様、西輝家様、くわんくわん様、湘南家様、大戸屋様、OUTBACK様、天鳳様、海南鶏飯食堂様、HONEY'S BAR様、とりのてつ様、米八様、中国茶房様、ロクサン様、豚虎様、和様、神戸ラーメン第一旭様、麺の月様、サルタン様、Ola!様、やすべえ様、ラーメンどん様、伊太利亜のじぇらぁとや様、CoCo 壱番屋様、青葉様、StayFree 様、天下一品様、スパマッチョ様、味噌一様、麺の坊 砦様、一風堂様、餃子の王将様、合計100店舗の皆様、本当にありがとうございます。特に、ニューオリ様は週1回美味しいパスタを提供してくださいました。深く御礼申し上げます。

最後に、父 横石邦彦、母 横石恵子、弟 横石優に心から感謝いたします。以上をもって本論文の謝辞とさせていただきます。

参考文献

- [1] 電力需給緊急対策本部. 夏期の電力需給対策について. http://www.meti.go.jp/setsuden/20110513taisaku% slash01.pdf. 1.1
- [2] Racow プロジェクト. http://www.racow.net. 2.2
- [3] NAVITIME. 電車混雑リポート. http://www.navitime.co.jp/?ctl=0171. 2.3
- [4] Panasonic. みえますねっと. http://panasonic.co.jp/pns/miemasunet/. 3.1.1
- [5] 久保田一道. **ゆっくり横断、青信号が待つよ 愛知の交差点、試験設置へ**. 朝日新聞, 4 2011. 2011 年 04 月 27 日付け 夕刊. 3.1.1
- [6] Apple. iPhoto. http://www.apple.com/jp/ilife/iphoto/. 3.2.1
- [7] Panasonic. NaPiOn(ナピオン) シリーズ. http://www3.panasonic.biz/ac/j/control/sensor/human/napion/index.jsp. 4.2.1
- [8] ROHM. BH1715FVC—照度センサIC. http://www.rohm.co.jp/products/lsi/sensor/ambient_light_sensor/ic/bh1715fvc/. 4.2.1
- [9] Digi. ConnectPort X4/X4 H. http://www.digi-intl.co.jp/products/wireless-routers-gateways/routing-gateways/connectportx4h.html. 4.2.2
- [10] ドカン. どかろぐ 〜ドカンの食べ歩き日記〜. http://web.sfc.wide.ad.jp/~dokan/dokalog/. B