

赤外線センサによる廊下での通行判定方式

秦淑彦^{†1} 藤吉祐太^{†1} 井伊雅哉^{†1}

近年、人感センサを用いた照明や空調の省エネ制御が当たり前のものとなり、ビルの天井には数 m 間隔でセンサが取り付けられ、センサ内蔵の製品もある。さらに、それらの機器はネットワーク化され、遠隔制御可能となっている。現状では、単に人の所在を検知する目的で人感センサが使われているが、それらセンサが通行する人の数や方向を計測し、ネットワーク経由でデータを収集すれば、ビル全体の人流が把握できる。そして、より効率的な設備制御だけでなく、人流情報を利用した防犯・防災、空間利用計画、効率的な接客サービスなどに応用できる。このような人感センサから構成されるセンサネットワークを用いた人流計測システムを実現するため、センサノードとして、安価でプライバシーの問題がない赤外線センサを利用する。複数人が横並びで通行できる廊下において人数と通行方向を判定するため、複数の焦電型赤外線センサを用いる方式と、サーモパイルアレイセンサと焦電型赤外線センサを組み合わせる方式を提案する。通路方向と直交する領域を通過する通行を判定するよう、センサを天井に取り付け検知範囲を設定する。各々のセンサ信号から、歩行者の人数、方向、速度に関する情報を含む特徴量を抽出し、機械学習により判定する。提案方式と種々の通行動作に対するデータを用いて学習した結果について報告する。

Counting Pedestrians Walking through a Hallway with Infrared Sensors

TOSHIHIKO HATA^{†1} YUTA FUJIYOSHI^{†1} MASAYA II^{†1}

Low cost motion sensors are widely used for energy conservation control of lighting and air conditioning facilities. They could be seen every several meters on ceilings and the facilities are controlled remotely via networks. They only detect human existence for the current applications but some of them can give more information to count numbers and directions of pedestrians. Human flow and occupancy information based on the data from the sensors can be used not only for improving energy conservation control but also for spatial planning services and advanced security services. Infrared sensors are often used for people detection and counting because they are very cheap and do not have a privacy problem. We propose novel methods to detect the number and direction of people walking through a hallway. Multiple sensors are aligned orthogonally to the walking direction on a ceiling. One method uses multiple Pyroelectric infrared (PIR) sensors and another uses a combination of thermopile array (TPA) sensors and PIR sensors. Some feature quantities such as peak values of PIR signals, time intervals between the peaks and temperature distribution are extracted and fed to classifiers of machine learning algorithms. The methods can detect the number and direction of people passing through in various combinations of timing, position, speed and direction. We describe the methods and show some experimental results.

1. はじめに

近年、人感センサを用いた照明や空調の省エネ制御が当たり前のものとなり、ビルの天井には数 m 間隔でセンサが取り付けられ、センサ内蔵の製品もある。さらに、それらの機器はネットワーク化され、遠隔制御可能となっている。現状では、単に人の所在を検知する目的で人感センサが使われているが、それらセンサが通行する人の数や方向を計測し、ネットワーク経由でデータを収集すれば、ビル全体の人流が把握できる。そして、より効率的な設備制御だけでなく、人流情報を利用した防犯・防災、空間利用計画、効率的な接客サービスなどに応用できる。

このような人感センサから構成されるセンサネットワークを用いた人流計測システムを実現するため、センサノードとして、安価でプライバシーの問題がない赤外線センサを用いた通行判定方式の開発を行っている[1]-[3]。複数人が横並びで通行できる廊下において人数と通行方向を判定するため、複数の焦電型赤外線センサを用いる方式と、サーモパイルアレイセンサと焦電型赤外線センサを組み合

わせる方式を提案する。通路方向と直交する領域を通過する通行を判定するよう、センサを天井に取り付け検知範囲を設定する。各々のセンサ信号から、歩行者の人数、方向、速度に関する情報を含む特徴量を抽出し、機械学習により判定する。

本報告では、赤外線センサと通行判定について述べ、2つの提案方式におけるセンサの配置と通行識別および機械学習による通行判定について説明する。さらに、種々の通行動作から得られたデータを用いてサポートベクターマシンにより学習し、その結果について報告する。

2. 赤外線センサと通行判定

安価でプライバシーの問題がない人感センサとして焦電型赤外線センサやサーモパイルアレイセンサがよく用いられる。本章では、センサの概要、関連研究、本研究で対象とする廊下での通行について述べる。

2.1 焦電型赤外線センサ

強誘電体が赤外線を受光すると、その熱エネルギーを吸収して分極が生じ、その変化量に応じて表面に電荷が励起

^{†1} 広島工業大学
Hiroshima Institute of Technologies

される。焦電型赤外線センサはこの焦電効果を利用し、人体などから発せられるわずかな赤外線を検知する[4][9]。2つの焦電素子を用いるデュアル型センサは、各素子の出力電圧の極性を逆にし、その差分信号を検出することにより、人の動きを感度良く環境変化に対しロバストに検知している。さらに、フレネルレンズを用いて、+極性の素子と-極性の素子に対するペアの検知エリアを設定する。この検知エリアを人が通過すると、センサから図2.1に示すような出力信号が得られる。焦電型赤外線センサは数百円/個と非常に安価であり、受動型のため取り付けも容易で消費電力も極めて小さい。

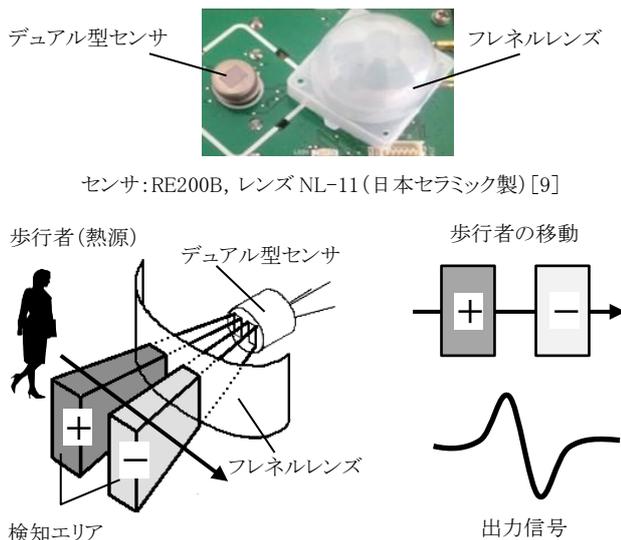


図 2.1 デュアル型センサと検知信号

Figure 2.1 Dual type PIR sensor and its output signal

2.2 サーマピルアレイセンサ

サーモパイルは熱型赤外線センサの一つである[8]。熱型赤外線センサは、物体が放射する赤外線を受光素子が吸収することによって発生する温度変化を電気信号に変換する。光エネルギーによる電気現象を利用する量子型赤外線センサに比べ感度や応答性で劣るが、波長帯域が広く常温で使えるため小型で安価な装置が製造できる。サーモパイルは、接触している異なる材料の間に温度差があると起電力を生じるゼーベック効果を利用するものであり、表面温度計や人物検知などに広く利用されている。複数のサーモパイル素子を1次元あるいは2次元に配列した半導体がサーモパイルアレイセンサであり、線的あるいは面的な温度測定が可能である。人物検知のために、応答性向上と小型軽量化を目指した開発も行われている。

本研究で用いたサーモパイルアレイセンサの外観と温度測定例を図2.2、仕様を表2.1に示す[10]。

表 2.1 サーマピルアレイセンサの仕様

Table 3.1 Specifications of the thermopile array sensors

項目	D6T-8L-06	D6T-44L-06
素子	1 x 8	4 x 4
視野角	$\theta_x = 62.8^\circ$ $\theta_y = 6.0^\circ$	$\theta_x = 44.2^\circ$ $\theta_y = 45.7^\circ$
検出温度	検出範囲5~50°C, 精度±1.5°C以内	
データ出力	測定温度デジタル値, シリアル出力	
電力	DC4.5~5.5V Typ.5mA	

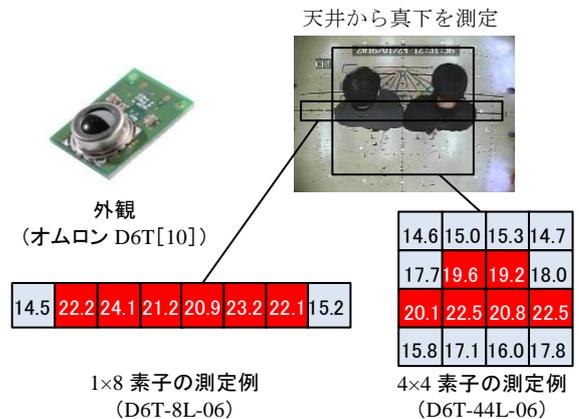


図 2.2 サーマピルアレイセンサ
Figure 2.2 Thermopile array sensor

2.3 関連研究

焦電型赤外線センサによる廊下での通行判定に関する研究として文献[5][6]がある。文献[5]では、3つのデュアル型センサを壁に取り付け、通行者の人数と方向を検出する。通行方向と直交する領域を検知範囲とし、通行方向に離れた間隔で設置した中央の主センサと両側の副センサが検知範囲を向くように角度を調整する。1人が通行すれば+/-のピークが発生することを利用し、ピークペアを検出して人数をカウントし、最初のピークの符号で方向を判定する。横並びで複数人が通行する場合、主センサの信号の時間幅が小さい時は主センサ、時間幅が大きい時は副センサのピークペアの数で人数を判定する。但し、横並びの判定精度は低い(3人通行の場合65%の正解率)。また、文献[6]では、センサからの距離や通行方向によりセンサ信号の振幅や時間幅が異なることを利用し、ピークの振幅や時間間隔などを特徴量として抽出し、機械学習アルゴリズムを用いて、通行する位置や方向を推定している。

2次元サーモパイルアレイセンサを用いて人物追跡を行う研究として文献[7]がある。4x4素子のセンサを天井に設置し、各素子の検知範囲に人が存在するか否かを、現在の温度と1タイムスロット前の温度を入力としてファジィ推論により判定し、人物領域をラベリングすることにより、人物の位置を検出し追跡している。

提案方式では、通行方向に直交する向きに複数の焦電型赤外線センサ、あるいは1次元のサーモパイルアレイセンサと焦電型赤外線センサを天井に取り付け、各センサの信号からピークの値、時間間隔、温度分布などを特徴量として抽出し、機械学習アルゴリズムを用いて判定する。これにより、検知範囲を複数人が色々なタイミング、速度、方向で通行する場合も、人数と方向を判定できるようにしている。

2.4 廊下通行

廊下を横切ることなく、通路方向に沿って、1人または複数人が横並びで通行する場合を対象とする。実際には、通常のオフィスビルや病院などにおける幅2~5m程度の廊下で、交差点や出入口付近以外の天井に設置して判定することを想定する。歩行速度は0.5m/s(非常にゆっくり)~3m/s(小走り)、通行方向は通路方向±30°、横並びは肩が触れ合う程度、縦並びは歩行速度に応じて接触しない程度の距離(1m/sであれば30cm)を判定対象とする。

3. 複数の焦電型赤外線センサによる方式

3.1 センサの配置と通行識別

複数の焦電型赤外線センサを用いる方式を方式1と称し、以下に説明する。1つのセンサで複数人の通行は判定できないので複数のセンサが必要となる。本研究では、できるだけ少ないセンサで安価に実現することを目指す。1つのセンサの1つの検知エリアを同時に1人が通行すれば判定できるので、直感的には、少なくとも判定すべき最大人数と同じ数のセンサが必要であると思われる。

そこで、図3.1に示すように、横並びで同時に通行できる最大人数と同じ数のセンサを、通路と直交する向きに等間隔で一列に、天井に設置する。隣接するセンサ間の真中を通行しても出力信号が得られるように検知範囲を重複させるが、1つのセンサの検知範囲には最大2人まで、2人存在する場合は各々両側の隣接するセンサの検知範囲にも存在するように設定する。これにより、1つのセンサが単独で複数人の判定をするような状況をなくす。具体的には、図3.1において、通路幅2m、天井高2.6m、各センサの検知範囲を床面で幅1m、通路方向に1mとしている。肩幅50cmの通行者であれば、例えば、通行位置①②③、⑥⑦といった横並び通行ができるが、①⑤②や③⑦などの横並びはできない。

デュアル型のセンサは検知範囲を通行することにより+-/-+ピーク(速度が遅いと+++/--+ピーク)の電流が発生する。受光する赤外線の変化量に応じた振幅となり、検知範囲の中央を通行するとより大きな振幅となる。ピーク間の時間間隔は移動速度に応じて変化し、ゆっくり移動すれば時間間隔は大きくなる。また、1つの検知範囲を複数人が通行する場合は、各通行に対応した信号波形を足し合わせた信号波形が発生することが、今までの経

験からわかっている。

このような特性により、異なる通行に対し異なる信号波形の組み合わせが出力されると期待される。しかし、出力信号にはバラつきがあり、実際の応用では、複数人が色々な速度、位置、方向で検知範囲を通行するので、信号波形の組み合わせは膨大なものとなり、その結果を基に各通行に対する信号のピークパターンや振幅の閾値を決定することは容易ではない。そこで、通行判定に寄与すると思われるセンサ信号の特徴量を考え、機械学習を用いて判定することを考える。

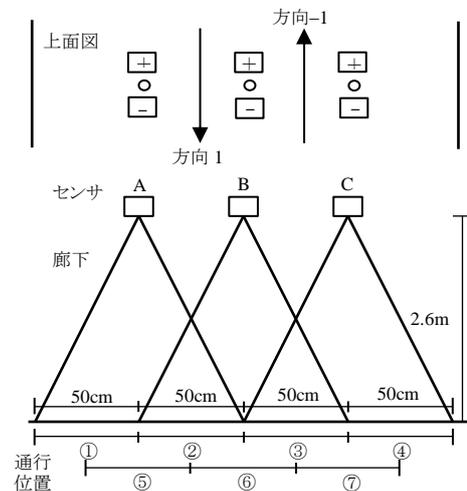


図 3.1 方式1におけるセンサの配置と検知範囲

Figure 3.1 Sensor placement and sensing areas in Method 1

3.2 機械学習を用いた通行判定

センサ毎に信号のピーク(極大値と極小値)を検出し、以下に示す情報を機械学習のための特徴量とする。(図3.2)

● ピークの値

ピーク列の符号パターンが通行方向に寄与し、ピークの値(振幅)が検知範囲内を通行する位置や人数に寄与する。時間的に連続する複数人の通行に対して、判定を区切るための処理方法を検討しなければならないが、今回は3人までの通行とする。従って、各センサからのピークは最大3個とし、合計3×3=9個のピーク値を特徴量とする。

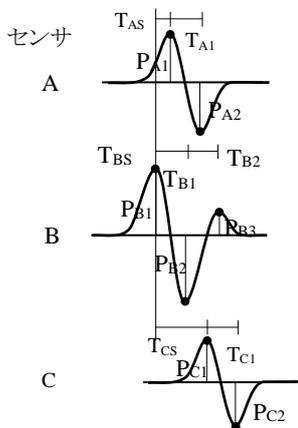
● ピークの発生時刻

移動速度に応じてピークの振幅やピーク数が異なるため、移動速度を表す特徴量が必要である。隣接するピークの時間間隔が移動速度に対応するため、各センサにおける隣接ピークの時間差を計算し、2×3=6個の特徴量とする。また、タイミングの異なる横並びの通行では、異なるセンサのピークの時間関係が判定に寄与することも考えられるので、センサ全体での先頭ピークの発生時刻から各センサの先頭ピークの発生時刻の時間差を計算し、前述の隣接ピークの時間差と合わせて6+3=9個を特徴量とするセットも評価する。

● 温度情報

人と床面の温度差により振幅は大きく変化する。温度に関する情報として気温または床面温度を特徴量とする。

以上の特徴量を組み合わせ、表 3.1 に示す 5 個の特徴量セットを評価する。



特徴ベクトル 隣接ピーク間隔

($P_{A1}, P_{A2}, P_{A3}, T_{A1}, T_{A2}, P_{B1}, P_{B2}, P_{B3}, T_{B1}, T_{B2}, P_{C1}, P_{C2}, P_{C3}, T_{C1}, T_{C2}$)

特徴ベクトル 先頭ピーク間隔+隣接ピーク間隔

($P_{A1}, P_{A2}, P_{A3}, T_{AS}, T_{A1}, T_{A2}, P_{B1}, P_{B2}, P_{B3}, T_{BS}, T_{B1}, T_{B2}, P_{C1}, P_{C2}, P_{C3}, T_{CS}, T_{C1}, T_{C2}$)

図 3.2 信号ピークのと発生時刻の特徴量
Figure 3.2 Feature quantities: peak values and times

表 3.1 方式 1 の特徴量セット

Table 3.1 Feature quantity sets in Method 1

特徴量セット	信号値	時刻	温度
P1	信号値 (9)	隣接 (6)	無 (0)
P2	信号値 (9)	隣接 (6)	気温 (1)
P3	信号値 (9)	隣接 (6)	床温 (1)
P4	信号値 (9)	先頭+隣接 (9)	気温 (1)
P5	信号値 (9)	先頭+隣接 (9)	床温 (1)

注：() 内は特徴量の個数

4. サーモパイルアレイと焦電型赤外線センサによる方式

4.1 センサの配置と通行識別

サーモパイルアレイセンサと焦電型赤外線センサを組み合わせた方式を方式 2 と称し、以下に説明する。焦電型赤外線センサは熱源が動かなくなると検知できないため、方式 1 は検知範囲で立ち止まると正しく判定できない。そこで、静止した熱源でも検知できるサーモパイルアレイセンサと焦電型赤外線センサを組み合わせた方式を考える。以下にその狙いを述べる。

● サーモパイルにより立ち止まりを検知

サーモパイルは物体の表面温度を計測するので、

立ち止まっている人も検知できる。人数を正確に推定できない場合も、存在を検知することはできる。

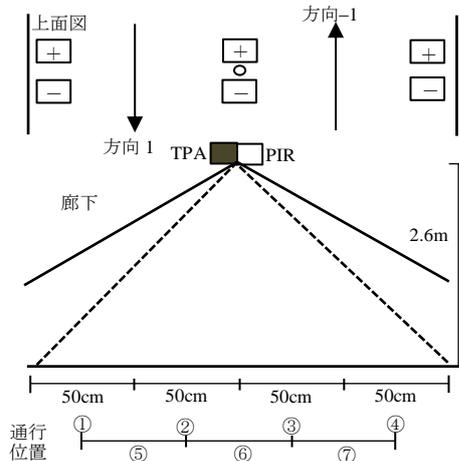
● 焦電型赤外線センサの感度と応答性を利用

安価なサーモパイルアレイセンサは温度測定の感度や時間応答性が不十分で、人と床の温度差が小さい場合、早い速度で通過する場合、人数の推定精度が低下する。それに対し、焦電型赤外線センサの方が、温度変化に対する感度や時間応答性が優れていることが経験的にわかっている。温度差が小さく早く通行する場合や、狭い間隔で縦列に通行する場合も、その通行に応じた信号が出力される。

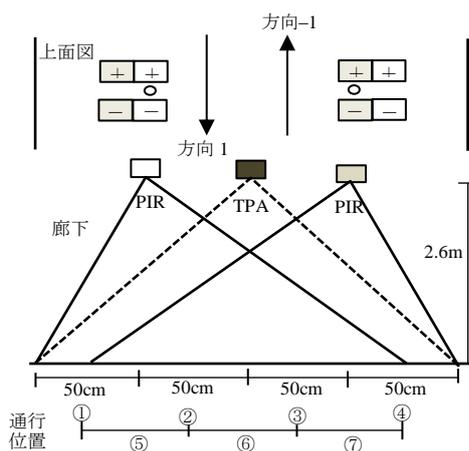
● 両センサの出力に含まれる通行情報を利用

焦電型赤外線センサ単体では同時に複数人が通行しても人数は判定できないが、その出力信号には通行する方向・速度・位置に関する情報が含まれる。また、サーモパイルアレイセンサからの温度分布には、通行する位置と人数に関する情報が含まれる。これら信号から、通行判定に有効な特徴量を見出し、機械学習により判定することを考える。

安価に実現するために、できるだけ少ない個数のセンサの組み合わせで実現したい。幅 2m 程度の廊下であれば、1 個の 1 次元サーモパイルアレイセンサと 1~2 個の焦電型赤外線センサを組み合わせることを検討している。センサの配置と検知範囲を図 4.1 に示す。図 4.1 において、(a) はサーモパイルアレイセンサ 1 個に対して焦電型赤外線センサ 1 個、(b) はサーモパイルアレイセンサ 1 個に対して焦電型赤外線センサ 2 個を用いる。複数人が横並びで通行する場合、(b) の方が人数や位置に関する情報をより多く得られ、(a) より判定精度が高いと考えられる。一方 (a) はサーモパイルアレイセンサと焦電型赤外線センサを一つの筐体に収納でき、製品および工事のコストが安価になる。



(a) TPA (サーモパイルアレイ) 1 個と PIR (焦電型) 1 個の構成



(b) TPA (サーモパイルアレイ) 1 個と PIR (焦電型) 2 個の構成

図 4.1 方式 2 におけるセンサの配置と検知範囲

Figure 4.1 Sensor placement and sensing areas in Method 2

4.2 機械学習による通行判定

以下に示す情報を機械学習のための特徴量とする。

- 焦電型赤外線センサのピークの値と発生時刻
方式 1 と同様、歩行者の人数、方向、速度などの情報を含む、焦電型赤外線センサ信号のピークの値と発生時刻を特徴量とする。少ないセンサで通路幅の範囲をカバーするため、複数人が異なるタイミングで通過する場合、方式 1 よりピーク数が多くなる。今回は 3 人までの通行に対して一つのセンサで最大 9 個とし、ピーク値については $9 \times n$ 個 ($n=1$ or 2) の特徴量とする。発生時刻については、隣接ピークの時間差を計算し、 $8 \times n$ 個の特徴量とする。
- サーモパイルアレイセンサの温度情報
サーモパイルアレイセンサの温度分布は人数と通行位置に関する情報を含む。通行していない時の床面温度分布として各素子の測定温度 8 個、焦電型赤外線センサのピーク発生時における温度分布として測定温度 $8 \times 9 \times n$ 個を特徴量とする。

評価する特徴量セットを表 4.1 に示す。

表 4.1 方式 2 の特徴量セット

Table 4.1 Feature quantity sets in Method 2

特徴量 セット	焦電型		サーモパイル 温度	
	信号値	時刻	床	ピーク時
T1	信号値(9)	隣接(8)	温度(8)	温度(72)
T2	信号値(18)	隣接(16)	温度(8)	温度(144)

注：() 内は特徴量の個数

5. 実験評価

5.1 実験方法

幅 2m の廊下を想定した通行実験を行い、提案方式の評価を行った。図 5.1 に実験システムの構成、図 5.2 に実験風景、図 3.1 と図 4.1 にセンサの配置と検知範囲、表 5.1 に通行判定装置の仕様を示す。通行判定装置は赤外線センサの基板と、信号ピーク検出機能を実装したマイコンボードから構成される。通行判定装置とサーバは LAN 接続される。

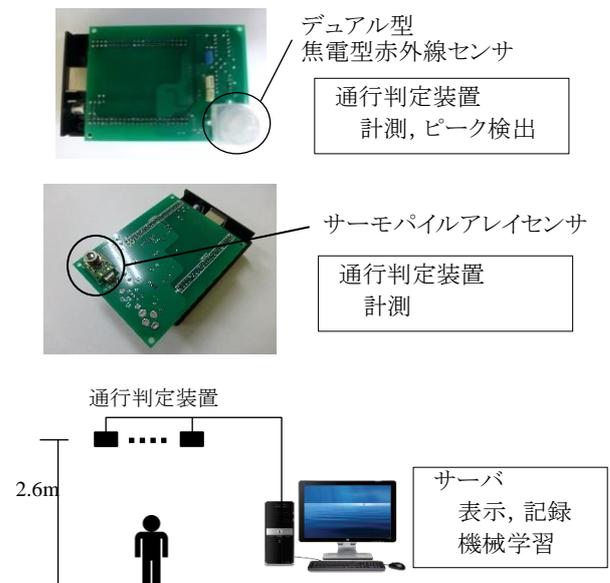
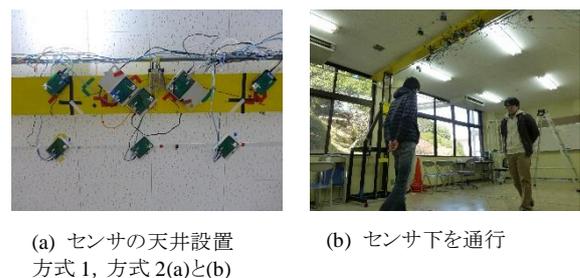


図 5.1 実験システムの構成

Figure 5.1 Experimental system



(a) センサの天井設置
方式 1, 方式 2(a)と(b)

(b) センサ下を通行

図 5.2 実験風景

Figure 5.2 Experimental scenes

表 5.1 通行判定装置の仕様

Table 5.1 Specifications of the prototype

項目	仕様
センサ	デュアル型焦電型赤外線センサ RE200B, NL11 (日本セラミック) [9]
	サーモパイルアレイセンサ D6T-8L-06 (オムロン) [10]
マイコン	Beagle Bone Black (BeagleBoard.org) CPU AM3358, RAM 512MB, OS Debian
通信	Wi-Fi (USB ドングル), Ethernet
電源	5VDC, USB 給電
サイズ	113×76×42mm

表 5.2 に通行動作の一覧，図 5.3 に複数人通行を説明する図を示す。表 5.2 において，通過時刻は複数人が検知範囲の真下を通過するタイミングであり，異時刻は 30cm ずれるように通行している。通行速度は 0.5, 1.0, 2.0m/s であり，今回は複数人が同じ速度で通行する同速度のみを行い，異速度は実施していない。異なる通行方向は，検知範囲ですれ違う通行である。750 パターンの通行動作を 10 回実施した。温度差は 5℃, 10℃, 15℃ の 3 種類で，15℃ は全てデータを取得できたが，5℃ と 10℃ は一部の通行データであり，取得済の通行パターン数を示す。

表 5.2 通行動作の一覧

Table 5.2 A list of passing movements

人数	方向	時刻	速度	クラス	通行パターン	取得通行パターン		
						5℃	10℃	15℃
1	—	—	—	1, 2	30	30	0	30
2	同	同	同	3, 5	180	40	60	180
		異	同					
	異	同	同	4	180	40	144	180
		異	同					
3	同	同	同	6, 9	90	20	16	90
		異	同					
	異	同	同	7, 8	270	12	144	270
		異	同					
合計					750	142	364	750

注：速度は 0.5, 1.0, 2.0m/s, 通過時刻は真下を同じタイミングと 30cm ずらす，各パターンで 10 回通行

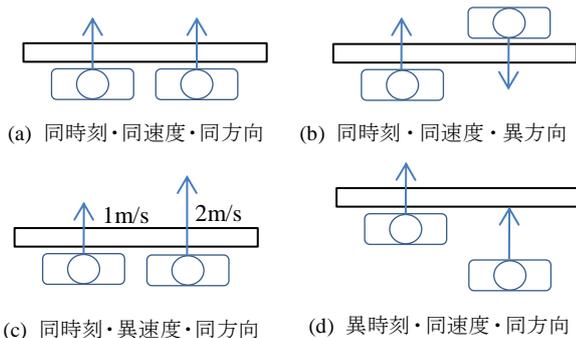


図 5.3 通行動作の例

Figure 5.3 Examples of passing movements

機械学習はサポートベクターマシンを用い，取得データに対して 10 交差法により評価した。ツールとして，R の kernlab のパッケージを用い [11]，カーネルは，線形，2 次多項式，3 次多項式とした。いずれもパッケージのデフォルト設定を使い，チューニングは行っていない。

5.2 実験結果

評価の際に，焦電型赤外線センサの信号ピークを正しく検出できていない通行データが見つかった。信号波形を観察すると検出可能な波形であり，検出プログラムあるいはデータ収集システムに不具合があったと思われる。今後，原因を究明し修正した上で，実験データを取り直す必要がある。現状の通行データに対する結果を以下に述べる。

【方式 1 の結果】

表 5.3 に，温度差 15℃，同じ通過時刻の通行において，ピーク検出ミスを含む通行データ (126×10) と，それらを除外した通行データ (126×10-47) に対して学習を行った際の，特徴量セット P5 の学習誤りと交差法誤りを示す。学習と交差法とも有為な差は見られない。このデータだけでは判断できないが，今回検出できなかったピーク情報は，分類に大きな影響を与えないのかもしれない。

表 5.3 方式 1：ピーク検出ミスによる誤り率 (%) への影響
Table 5.3 Method 1: Effect on errors by peak detection problem

検出ミス	線形		2 次		3 次	
	学習	交差	学習	交差	学習	交差
有り	0.56	1.27	0	1.03	0	0.40
無し	0.74	1.15	0	0.66	0	0.33

注：温度差 15℃，同じ通過時刻 (126×10=1260 通行)，特徴量 P5

今回のピーク検出ミスを含んだ学習結果について述べる。表 5.4 に温度差 15℃ の通行データ (750×10)，表 5.5 に温度差 5～15℃ の通行データ (1256×10) に対して学習を行った際の，特徴量セット P1～P5 の学習誤りと交差法誤りを示す。

線形カーネルの学習誤りと交差法誤りは 10～20% と悪いが，2 次と 3 次の多項式は学習誤りが 1.2% 以下，交差法誤りは 5% 以下と良い結果が得られた。

温度差 15℃ の誤りの方が低いのは，温度差によるピーク値の変動が少ない，ピーク値が大きいためピークの検出ミスが少ない，全ての通行パターンに対する学習データが揃っているなどの理由が考えられる。温度情報を特徴量に含む P2～P5 の方が，温度情報を含まない P1 より誤りが小さく，温度情報を特徴量に加える効果が表れている。気温を特徴量とする P2 と P4，床温を特徴量とする P3 と P5 の誤りには有為な差は見られない。今回の通行データでは，気温と床温には一定の関係が保たれていたためと考えられる。

先頭ピークの時間間隔を特徴量として含む P4 と P5，含まない P2 と P3 の誤りについては，P4 と P5 の方が小さく

なる傾向が見られる。

表 5.4 方式 1 : 学習と 10 交差法の誤り率 (%) 15°C

Table 5.4 Method 1: Errors in training and 10 cross validation at 15°C

特徴量 セット	線形		2 次		3 次	
	学習	交差	学習	交差	学習	交差
P1	13.95	14.51	0.97	3.15	0.01	2.41
P2	12.59	13.19	0.2	2.21	0	1.12
P3	11.5	12.39	0.12	1.81	0	1.51
P4	11.21	12.12	0.01	1.77	0	1.24
P5	9.53	10.61	0.01	1.67	0	1.23

表 5.5 方式 1 : 学習と 10 交差法の誤り率 (%) 5 - 15°C

Table 5.5 Method 1: Errors in training and 10 cross validation at 5 - 15°C

特徴量 セット	線形		2 次		3 次	
	学習	交差	学習	交差	学習	交差
P1	19.02	19.75	1.14	4.44	0.01	3.9
P2	18.09	18.96	0.43	3.27	0	2.77
P3	18.08	18.93	0.39	3.17	0	2.71
P4	17.02	17.72	0.05	2.86	0	2.34
P5	16.92	17.65	0.07	2.91	0	2.46

【方式 2 の結果】

表 5.6 に、温度差 15°C、同じ通過時刻の通行において、ピーク検出ミスを含む通行データ (126×10) と、それらを除外した通行データ (126×10-83) に対して学習を行った際の、特徴量セット T2 の学習誤りと交差法誤りを示す。学習誤りは何れも 0 であるが、交差法誤りは検出ミスのデータを除外した方が 1~2% 小さくなっている。方式 1 と異なり、今回検出できなかったピークの情報が学習結果に影響を与える可能性が高いと考えられる。

表 5.6 方式 2 : ピーク検出ミスによる誤り率への影響

Table 5.6 Method 2: Effect on errors by peak detection problem

検出ミス	線形		2 次		3 次	
	学習	交差	学習	交差	学習	交差
有	0	6.43	0	6.51	0	7.30
無	0	5.32	0	4.64	0	5.42

注 : 温度差 15°C, 同じ通過時刻 (126×10=1260 通行), 特徴量 T2

今回のピーク検出ミスを含んだ学習結果について述べる。表 5.7 に温度差 15°C の通行データ (750×10)、表 5.8 に温度差 5~15°C の通行データ (1256×10) に対して学習を行った際の、特徴量セット T1 と T2 の学習誤りと交差法誤りを示す。

線形カーネルは誤りがかなり大きく、学習誤りそのものが大きいので、学習時に分類できていないといえる。それに対して、2 次多項式と 3 次多項式カーネルの学習誤りは 0~4% と小さく、ある程度分類できているが、交差法誤り

は 7~14% と大きく、汎化能力が低いといえる。

温度差 5~15°C のデータの方が温度差 15°C のデータより誤りが大きくなっている。サーモパイルアレイセンサは温度差が小さい場合の感度や時間応答性が良くないため、方式 1 以上に誤りに与える影響が大きいが考えられる。

焦電型赤外線センサ 2 個用いる T2 が、1 個用いる T1 より誤りが小さい。これは、センサ 2 個から通行判定に必要な情報をより多く得られているためと考えられる。

表 5.7 方式 2 : 学習と 10 交差法の誤り率 (%) 15°C

Table 5.7 Method 2: Errors in training and 10 cross validation at 15°C

特徴量 セット	線形		2 次		3 次	
	学習	交差	学習	交差	学習	交差
T1	27.76	29.77	1.06	9.78	0	7.36
T2	13.13	17.34	0	9.53	0	7.18

表 5.8 方式 2 : 学習と 10 交差法の誤り率 (%) 5 - 15°C

Table 5.8 Method 2: Errors in training and 10 cross validation at 5 - 15°C

特徴量 セット	線形		2 次		3 次	
	学習	交差	学習	交差	学習	交差
T1	23.51	25.36	3.72	13.87	3.30	12.12
T2	14.88	19.08	3.02	12.17	3.02	10.67

6. まとめ

複数人が横並びで通行できる廊下において人数と通行方向を判定するため、複数の焦電型赤外線センサを用いる方式と、サーモパイルアレイセンサと焦電型赤外線センサを組み合わせる方式を提案した。種々の通行動作に対する学習データに対して、サポートベクターマシンを用いて学習・評価した。今回の実験では不適切な学習データが含まれており、十分な分析ができなかったが、方式 1 における 2 次多項式と 3 次多項式カーネルでは交差法誤りが小さく、良い結果が得られた。一方、方式 2 は汎化能力が低いことがわかった。要因として、サーモパイルアレイセンサの感度と応答性が低いこと、特徴量の次元数が多いことなどが考えられる。

今後、ピーク検出ミスをなくし、実験データを取り直して評価を行い、特に方式 2 の問題分析と改良検討を行う。また、多数の人が時間的に途切れなく通行する場合、どのタイミングで判定するかというセグメンテーションが課題であり、合わせて検討を行う。

参考文献

- 1) 秦淑彦, "焦電型赤外線センサを用いた 1 人用ゲートにおける通行判定," 知能と情報 (日本知能情報フェジ学会誌), Vol.28, No.6, (2016), pp.887-898, December, 2016
- 2) 秦淑彦, 赤田紘基, 吉川尚志, 角知昭, "焦電型赤外線センサによる廊下での通行判定方式," 情報処理学会研究報告, Vol.2015-UBI-49, No.35, pp.1-6, March, 2016
- 3) 秦淑彦, 鹿田隆太, 小田章弘, "サーモパイルアレイセンサによる廊下での通行判定方式," 情報処理学会研究報告, Vol.2015-UBI-49, No.34, pp.1-6, March, 2016

- 4) 奥田晋也, 金田重郎, 芳賀博英, ” アナログ型焦電センサによる人間の室内位置・身長判別法の提案,” 情報処理学会研究報告, UBI 2004(112), pp.1-8, November, 2004
- 5) P. Zappi, E. Farella, and L. Benini, “Enhancing the spatial resolution of presence detection in a PIR based wireless surveillance network,” in Proc. IEEE Conf. AVSS, 7, pp. 295–300, September 2000
- 6) P. Zappi, E. Farella, and L. Benini, “Tracking motion direction and distance with pyroelectric IR sensors,” IEEE Sensors Journal, Vol. 10, No. 9, pp. 1486–1494, September 2010.
- 7) 九鬼正人, 中嶋宏, 土屋直樹, 田中純一, 畑豊, ” サーモパイルアレイセンサを用いた屋内用の人モニタリングシステム,” システム制御情報学会論文誌, Vol.27, No.4, pp.149-159, 2014
- 8) “赤外線基礎知識,” 日本赤外線学会学生会,
<http://jsirgakuseikai.jimdo.com/>
- 9) Nippon Ceramic Co., Ltd, "Pyroelectric Infrared Sensors,"
<http://www.nicera.co.jp/pro/ip/pdf/pdfip001.pdf>
- 10) オムロン株式会社, ” 形 D6T MEMS 非接触温度センサ,”
<https://www.omron.co.jp/ecb/products/pdf/d6t.pdf>
- 11) ” bioinformatics R で行う SVM 解析,” biopapyrus,
<http://bi.biopapyrus.net/machine-learning/svm/r-svm.html>