

人感センサネットワークを用いたスマートビル — 焦電型赤外線センサによる人物通行判定に関する一検討 —

秦淑彦^{†1} 麻生圭祐^{†1} 比良健人^{†1} 福庭涼^{†1} 永瀬司^{†1}

安全／快適／便利／省エネな空間を提供するスマートビルシステムでは、ビル利用者の行動を抽出し、その行動情報に基づき設備制御することが有効である。我々は、侵入検知や照明制御等で広く利用されている安価な焦電型赤外線センサを用いた人感センサネットワークにより、タグ等を持たない人も含めた行動情報を抽出する研究を行っている。現状、各センサからは通行者の有無しか取得できず、人数を計測することはできない。そこで、エリアの出入口に人数カウンタを設置してエリア内の在場人数を管理すること、この人数カウンタに焦電型赤外線センサを利用することを考える。デュアル型のセンサに対して一組の検知エリアを設定し、その検知エリアを通行する人の数と方向を検知する。通常の通行に加え、立ち止まり、複数人が狭い間隔で通行、2人が入れ替わりで逆方向に通行などの種々の通行動作に対し、人と床の温度差を変えながら実験を行った。その結果、非常に狭い間隔で通行する、かなり温度差が小さいなどの特別な場合を除き、ほぼ正しく通行判定できることを確認した。

A Smart Building with PIR Sensor Networks - Counting Pedestrians with PIR Sensors -

TOSHIHIKO HATA^{†1} KEISUKE ASO^{†1} KENTO HIRA^{†1}
RYO FUKUBA^{†1} TSUKASA NAGASE^{†1}

It is very effective to extract human behavior and control building facilities based on the behavior in smart buildings that should provide safe, comfortable and convenient environment with energy saving. We have been doing research on extracting the human behavior with sensor networks using pyroelectric infrared sensors that are very inexpensive and used widely for security and facility control. The sensor networks provide information of human motion but not their quantitative information such as head-counts. We consider counting people existing in each area of buildings with counters placed on their entrances and utilize the pyroelectric infrared sensor for the people counter. The dual element type sensor with Fresnel lens having a pair of detecting areas detects numbers and directions of pedestrians. According to experiment for various passing movements with various temperature difference between the pedestrians and a floor, we confirmed that the sensor can count the number of people correctly except some limited cases such as plural pedestrians in vicinity less than 30cm and very small temperature difference.

1. はじめに

安全／快適／便利／省エネな空間を提供するスマートビルシステムでは、ビル利用者の行動を抽出し、その行動情報に基づき設備制御することが有効である。我々は、侵入検知や照明制御等で広く利用されている安価な焦電型赤外線センサを用いた人感センサネットワークにより、タグ等を持たない人も含めた行動情報を抽出する研究を行っている[1][2][3][4]。現状、各センサからは通行者の有無しか取得できず、人数を計測することはできない。

そこで、エリアの出入口に人数カウンタを設置してエリア内の在場人数を管理すること、この人数カウンタに焦電型赤外線センサを利用し安価に実現することを考える。2つの焦電素子を有するデュアル型のセンサに対して一組の検知エリアを設定することにより、その検知エリアを通行する人の数と方向を検知する。通常の通行に加え、立ち止まり、複数人が狭い間隔で通行、2人が入れ替わりで逆方向に通行などの種々の通行動作に対し、人と床の温度差を変えながら実験を行った。その結果、非常に狭い間隔で通

行する、かなり温度差が小さいなどの特別な場合を除き、ほぼ正しく通行判定できることを確認した。

本報告では、人感センサネットワークによる行動抽出、焦電型赤外線センサを用いた通行判定の基本アイデアと通行実験、通行判定方式と検証実験について述べる。

2. 人感センサネットワークによる行動抽出

2.1 人感センサネットワーク

ビル内に密に配置した焦電型赤外線センサをネットワーク化した人感センサネットワークにより、人の動き情報を収集する。センサ出力は単に人が動いたか否かを示すだけであるが、この“motion”情報から、よりレベルの高い人の行動情報を階層的に推定することができる[1]。例えば、2m四方のセンサ検知範囲における“motion”の時系列情報から、直進／右折／立ち止まりなど、1つレベルの高い“movement”情報を推定する。さらに隣接する複数センサの“movement”情報を用いて、通行軌跡などのさらにレベルの高い“activity”情報を推定する。

“motion”情報をフロア図面や時間軸グラフに連動表示することにより、どの時間帯にどのスペースが利用されているかなどの「見える化」ができる[2]。また、人感センサ

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

に加え、温湿度や照度センサもセンサノードに搭載し環境情報をきめ細かに測定することにより、設備運転の省エネ化に適用できる[3].

人感センサネットワークのプロトタイプを図 2.1 に示す.

2.2 エリア毎の在場人数管理

通行者の有無だけでなく、エリア内に存在する人数をカウントし管理できれば、店舗の集客やスペース利用の分析といったマーケティング応用、より効率的できめ細かな空

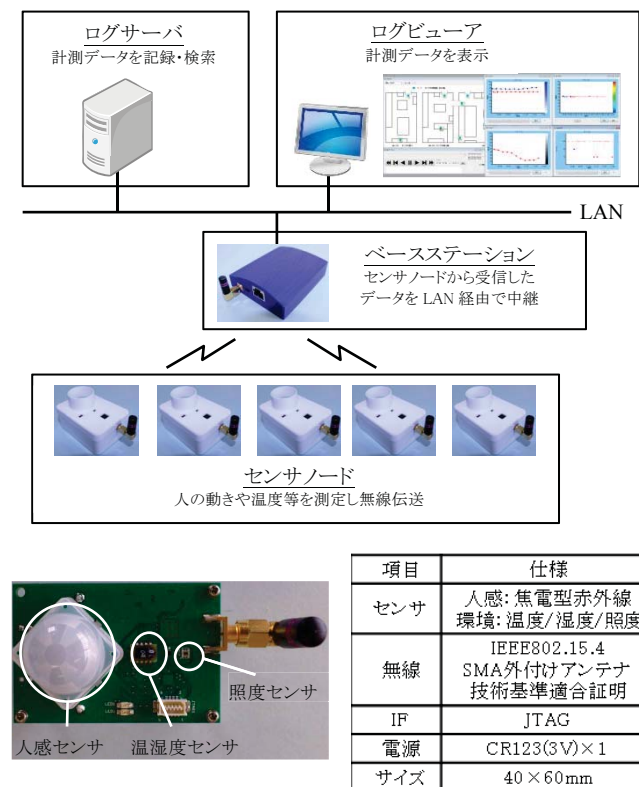


図 2.1 人感センサネットワークのプロトタイプ
Figure 2.1 Prototype system of PIR sensor network

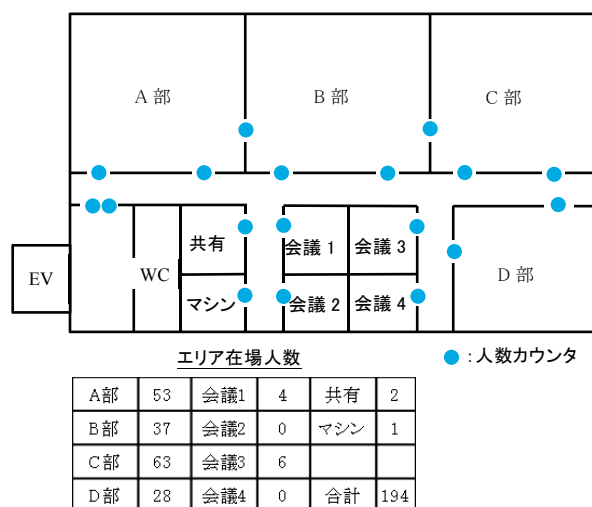


図 2.2 エリア毎の在場人数管理のイメージ
Figure 2.2 Application counting people in each area

調やエレベータ配車等の設備制御が可能となる。人が少なければ、人感センサネットワークの人物追跡から人数を推定することができるが、通行者が多い/多くの人が座っているエリアでは人物追跡はできない。

そこで、図 2.2 に示すように、各エリアの入退箇所に人数カウンタを設置し、エリア内の在場人数を管理することを考える。多くの場合、オフィスでの部/課スペースやショッピングモールにおける店舗スペースは壁/パーティション/商品展示で区切られ、入退箇所は限定されている。しかし、現状の人数カウンタ装置は高価であり、細かなエリア単位での計測は現実的ではない。上記のようなマーケティングやビル設備制御等への応用であれば、高い計測精度は要らず、できるだけ安価に実現することを目指すべきである。

3. 通行判定の基本アイデア

3.1 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[5]。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 3.1 に示すような出力信号が得られる。一般には、1つのセンサで広範囲の人の動きを検知するため、図 3.2(a)のような複数の検知エリアを構成するフレネルレンズが用いられる。

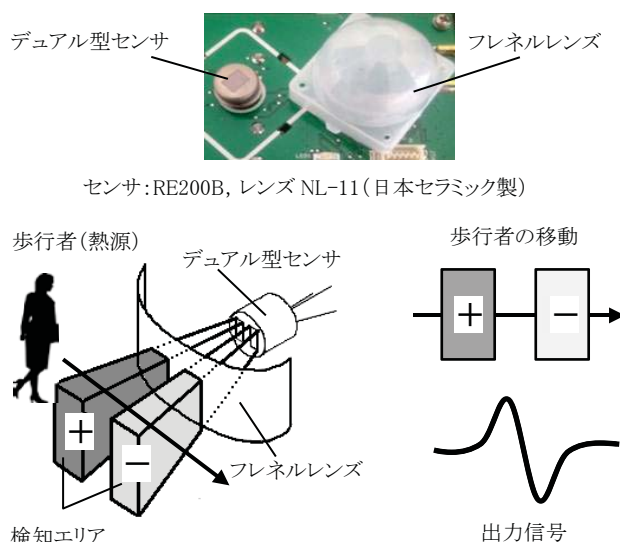
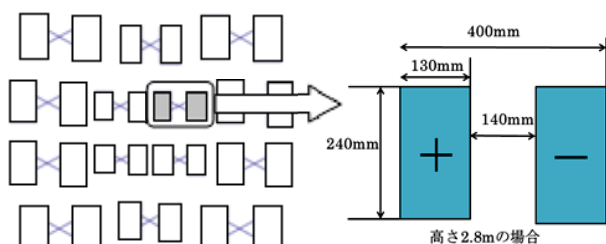


図 3.1 デュアル型センサと検知信号
Figure 3.1 Dual type PIR sensor and its output signal



(a)一般に利用される検知エリア (b)一組の検知エリア

図 3.2 フレネルレンズによる検知エリア
Figure 3.2 Fresnel lens and their detection areas

3.2 基本アイデア

単一の検知エリアを人が通行するのであれば、原理的には、通行する人数／速さ／向きなどに応じて異なる波形の出力信号が得られるはずである。そこで、デュアル型センサと、図 3.2(b)に示すような、人の通行検知に適した比較的小さな単一の検知エリアを構成するフレネルレンズを用いた人数カウンタの実現を考える。

正しく通行判定するには、通行者が図 3.1 に示す方向で検知エリアを通行するよう誘導しなければならない。そのため、通行ゲートやパーティション等の設置が必要となるが、既に広く導入されており、大きな支障にはならないと思われる。

既に実用化されている人数カウンタ装置は、画像センサや距離画像センサ[6]、アクティブ型のレーザセンサ[7]や超音波センサ等を用いているが、何れも装置単体／設置工事／運用（電力消費含む）のコストが高い。それに対し、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。

4. 通行実験によるセンサ信号の観察

4.1 実験方法

文献[4]において、基本的な通行実験を行い、3.2 の基本アイデアの実現可能性を確認した。今回、その実験を拡張し、種々の通行動作に対して、人と床の温度差を変化させて、センサの出力信号の波形を観察した。

高さ 2.8m の天井に焦電型赤外線センサを設置し、検知エリアの向きに沿って通行した。通行動作の種類を以下に示す。

- 1 人の「歩行」、「走行」、「立ち止まり」、「引き返し」
- 2 人が前後に狭い間隔で近接して通過する「近接通行」
- 1 人が通過した後直ぐに他の 1 人が逆方向に通過する「双方向通行」
- 80℃の湯が入ったポットあるいは段ボール箱を持って通過する「運搬通行」

これらの通行動作に対し、移動速度、立ち止まり地点、間隔などを変えて、各々 50 回実施した（動作の詳細は表 4.2 参照）。尚、入退箇所でのほとんどの通行動作は、1 人が立

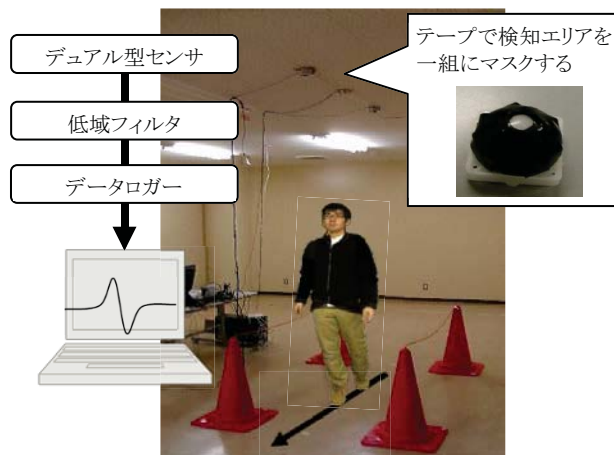


図 4.1 通行実験のシステム構成と実験風景
Figure 4.1 Experimental system for passing movements

ち止まらずに歩行する（0.5～2m/s）か、小走りに走り抜ける（3m/s）動作であると思われる。温度差は 5, 10, 15, 20℃とした。周囲温度と衣服を変えて温度差を調整し、放射温度計により測定した。

実験システムの構成と実験風景を図 4.1 に示す。複数ペアの検知エリアを有する市販のフレネルレンズを黒のビニールテープで覆うことにより、単一ペアの検知エリアのみ有効とした。ノイズ除去用の低域フィルタ回路を通したアナログのセンサ出力信号をデータロガーに入力し、AD 変換後の信号をリアルタイムにパソコン画面に表示するとともにファイルとして記録する。

4.2 結果と考察

表 4.1 に各通行動作に対する代表的な出力波形とその概要を示す。入退箇所における通行者の数と方向を判定するという視点で、観察結果とその考察を以下に述べる。

- ① 多くの場合、波形のピークパターンに基づき、1 人通過は判定可能

「1 人歩行」、「1 人走行」、「センサ真下かそれより奥での立ち止まり」のピークパターンは＋－あるいは＋－＋であり、他の通行動作と異なるため、1 人通過と判定できると考える。

但し、「1 人走行」は検知範囲に存在する時間が短くなるため、信号の振幅が小さくなる。温度差が小さく移動速度が大きいと、ピークを検出するのが難しくなる。

- ② 「30cm 以上の近接通行」、「双方向通行」、「運搬通行」、「手前で立ち止まり」はピーク箇所の出力値で判定可能

「30cm 以上の近接通行」、「運搬通行」、「手前で立ち止まり」においてゆっくり通行すると、「双方向通行」と同じ＋－＋のピークパターンとなる。しかし、図 4.2 に示すように、ピーク箇所の出力値が異なるため、判別できると考える。

③ 判定できない通行動作がある

以下の通行動作は判定できない。何れも特別な通行動作であり、本研究が狙う“高い精度は求めず、できるだけ安価に実現する”応用では問題ないとする。

- ・ 「20 cm以下の近接通行」：「かなり間隔の狭い近接通行」は、セキュリティゲートでの手引きによる共連れ行為や、手をつないだ親子連れに相当する。
- ・ 「引き返し」：引き返す位置や引き返し方によって種々の波形となり、他と区別するのは困難である。
- ・ 「長時間の立ち止まり」：センサの動作原理から出力が零となり、検知できない。

④ 温度差が小さくなると判定が難しくなる場合がある

人と床面の温度差が小さいと出力波形の振幅が小さくなり、上記①と②に対しても、ピークの検出が困難になる、他の通行動作と同様な波形となる場合がある。

⑤ 1m 四方の通行スペースが必要

文献[4]の実験において、今回の検知エリアのサイズであれば、1m 四方の通行スペースがあれば、周囲の通行者の影響を受けないことを確認している。この程度のスペースであれば、入退ゲートを設置する以外に、書棚等を用いてエリアへの入退箇所を制約をつけることでも対応できる。

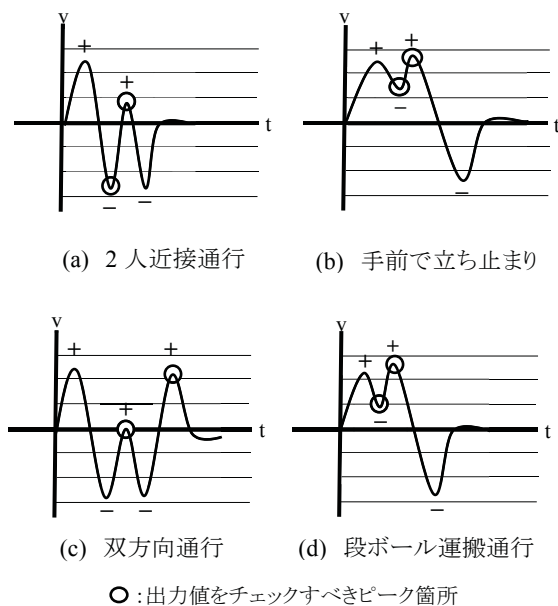


図 4.2 同じピークパターンを有する出力波形
 Figure 4.2 Wave shapes with the same peak pattern

表 4.1 通行動作に対する出力波形

Table 4.1 Wave shapes for passing movements

通行動作	出力波形	波形の説明
「1人歩行」 1人が立ち止まらず 0.5m/s～2m/s で通過		1m/s～2m/s の場合 ピーク: +-
		0.5m/s の場合 ピーク: +-+
「1人走行」 1人が立ち止まらず 3m/s以上で通過		ピーク: +- 1人歩行と同じピークパターンであるが、振幅が小さい
「立ち止まり」 1人が1m/sで、 ゲート内で一度 1s～2s立ち止まり 通過		センサ真下より手前で立ち止まる場合 ピーク: +-+-(+) 1番目の正と負のピークの振幅が小さい
		センサ真下で立ち止まる場合 ピーク: +-
		センサ真下より奥で立ち止まる場合 ピーク: +-+
「引き返し」 1人が1m/s～ 3m/sで、ゲート 内で一度引き返 し通過しない		センサ真下より手前で引き返す場合 ピーク: + 二つ目の検知範囲まで行かず正ピークが1回
		センサ真下で引き返す場合 ピーク: +- - +
「近接通行」 2人が1m/sで、 間隔20～60cm あけて同じ方向 に通過		間隔20cm以下の場合 ピーク: +-+-(+) 2番目と3番目のピークの電位差が小さい
		間隔30cmの場合 ピーク: +-+-(+) 2番目の正ピークの振幅が小さい
		間隔60cmの場合 ピーク: +-+-(+)
「双方向通行」 1人が通過した後、 2s以内に他の 1人が逆方向に 通過		ピーク: +-+-+
「運搬通行」 1人が0.5m/s～ 1m/sで、物 (80℃の湯が入 ったボット、段 ボール)を持って 通過。物と体の 距離は30cm以上		ポットの場合 ピーク: +-+-(+) 2番目の正と負のピークの振幅が小さい
		段ボールの場合 ピーク: +-+-(+) 1番目の正と負の振幅が小さい

注 (＋) はゆっくりと通行した際に＋ピークが追加される

5. 通行判定方式

4の実験結果に基づき、「1人歩行」、「1人走行」、「立ち止まり」、「近接通行」、「双方向通行」、「運搬通行」の通行動作に対し、通過した人数と方向を判定する方式を考える。提案方式では、まずピークパターンに基づく一次判定を行い、「1人歩行」のピークパターンであれば1人通過と判定する。「近接通行」のピークパターンであれば、ピーク箇所の出力値をチェックする二次判定を行って特定する。表5.1に各通行動作に対する判定規則を示す。尚、一次判定および二次判定で通行動作を特定できない場合は、「その他」と判定する。

表 5.1 通行動作に対する判定規則

Table 5.1 Decision rules for passing movements

通行動作	一次:ピークパターン判定	二次:出力値判定
1人歩行, 1人走行	1人通過	—
立ち止まり	1人通過	1人通過
近接通行	→	同方向にn人通過
双方向通行	→	異方向に2人通過
運搬通行	1人通過	1人通過

注 一次と二次判定で特定できない場合は「その他」と判定

図 5.1 に処理フローを示し、以下に実装の工夫を述べる。

- ① 微分処理後の閾値判定によりピーク検出の容易化
出力信号を微分回路に通すことにより、単純な閾値判定で波形の傾きを求め、ピーク箇所を検出する。

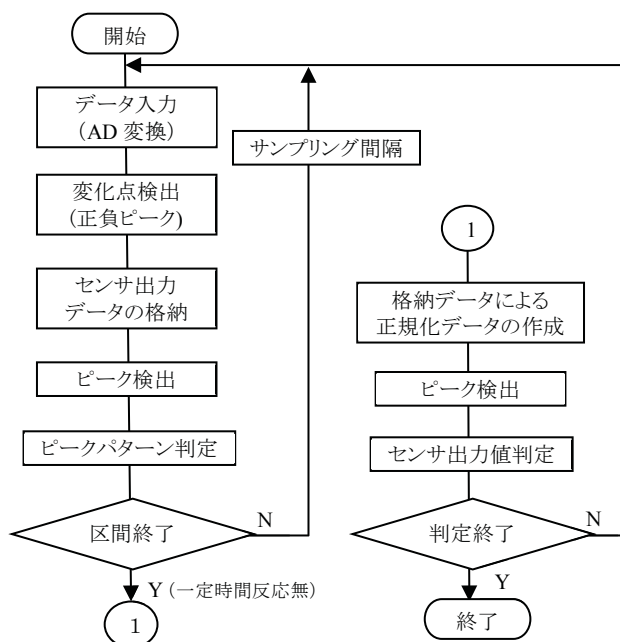


図 5.1 提案方式の処理フロー

Figure 5.1 Processing flow of the proposed method

- ② 正規化処理後の閾値判定により電位変動に対応
移動速度や温度差により出力信号の振幅は変化するため、通行判定区間の出力値をバッファに格納しておき、二次判定の際に正規化処理した出力値をチェックする。
- ③ 「近接通行」に対する逐次判定
近接通行では最後の歩行者以外は+のピークパターンとなるため、1人が通過した直後に、方向も含めて1人通過と逐次に判定する。但し、二次判定で逐次判定の結果が誤りであれば訂正を行う。

6. 通行判定実験

6.1 実験方法

実験システムの構成を図 6.1 に、試作した通行判定装置を図 6.2 に示す。通行判定装置を高さ 2.8m の天井に設置し、1×1m のエリアを通行する。通行判定装置はデュアル型センサ、低域フィルタおよび微分回路、マイコンボードを備える。この装置に実装された判定プログラムが判定処理を行い、判定結果と AD 変換されたセンサ出力信号を LAN 経由でパソコンに伝送する。

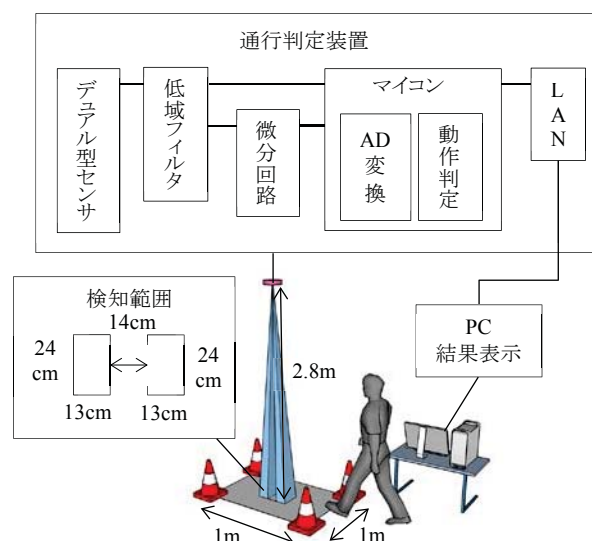
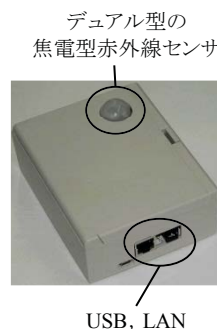


図 6.1 通行判定実験におけるシステム構成
Figure 6.1 Experimental system for counting pedestrians



項目	仕様
センサ	焦電型赤外線センサ RE200B, NL-11 (日本セラミック)
マイコン	Beagle Bone TIAM3359, Linux 3.2 (Beagle Borne.org)
IF	LAN, USB
A/D	0.9±0.9V, 12bit
電源	5VDC, USB給電
サイズ	125×100×45mm
重量	250g

図 6.2 通行判定装置

Figure 6.2 Prototype device for counting pedestrians

「引き返し」を除く通行動作に対し、温度差を 5, 10, 15, 20℃と変化させ、通行動作を各々50 回行った。

6.2 結果と考察

表 6.1 に実験結果を示す。まず、全体に対する評価を述べる。

- 全般的に、温度差が小さくなると正しく判定できない比率が大きくなる。これは、温度差が小さくなって出力信号の振幅が小さくなることにより、一部のピークが検出できず「その他」と判定される（表 6.1 では特定不可）、あるいは他の通行動作と同様な波形となり誤判定となるためである。
- 本実験では人と床の温度差を 5～20℃と変化させたが、頭部が露出していれば、体温により温度差は 15℃程度となる。ヘルメット等を着用する仕事場や床面に直射日光が当たる環境でなければ、温度差 5℃となるケースは少なく、全体への影響は少ないと考える。
- 「立ち止まり」、「近接通行」、「双方向通行」、「ポットなど熱い物の運搬通行」において正しく判定できない比率が高い。しかし、通常、「1 人歩行」や「3m/s 程度の走行」が大半であり、全体への影響は少ないと考える。
- 後述するように、今回正しく判定できなかった場合も、方式を改良することにより対応できる可能性がある。

以上のことから、通常環境であれば、提案方式はかなり良い精度で通行判定可能であるといえる。温度差や通行動作は応用によりケースバイケースであるため、今後は実環境での検証実験が必要である。

次に、正しく判定できなかった場合について、判定方式の改良により対応できそうな場合と、そうでない場合に分けて説明する。

[判定方式の改良により対応できそうな通行動作]

- 「手前 1 秒の立ち止まり」（温度差 15℃）
最初のピークが検出されず、逆方向に 1 人通過したと判

定される。出力値をチェックすれば判別できると思われる。（図 6.3(a)）

- 「手前 2 秒の立ち止まり」（温度差 10, 15, 20℃）
最初の正のピークが検出されず、逆方向に 1 人または 2 人の通過と判定される。出力値をチェックすれば判別できると思われる。（図 6.3(b)）
- 「双方向通行」（温度差 20℃）
2 人目が通行する速度が遅いと、1 つピークが増え、3 人の近接通行と同様のピークパターンとなる。今回の実装ではこのピークパターンを定義していないので「その他」と判定される。ピークパターンを追加して定義することで判定できる。（図 6.3(c)）
- 「ポット運搬通行」（温度差 15, 20℃）
「間隔 30cm の近接通行」と同様の波形となり、同じ方向に 2 人通過と判定される。ポットの最初の正のピークの出力値が人のピークと比べて大きいので、絶対値をチェックすることで判別できると思われる。（図 6.3(d)）

[判定方式の改良では対応できない通行動作]

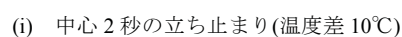
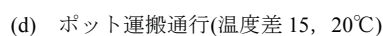
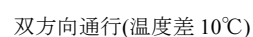
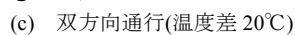
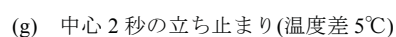
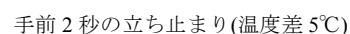
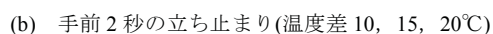
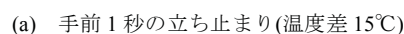
通行動作が特定できない「その他」と判定される場合

- 「3m/s 以上の 1 人走行」（温度差 5, 10℃）
温度差が小さく、速度が速くなるとピークが 1 つになり特定できない。（図 6.3(e)）
- 「手前 1 秒の立ち止まり」（温度差 5, 10℃）、「手前 2 秒の立ち止まり」（温度差 5℃）
立ち止まった際の電位が小さく、負のみのピークとなり特定できない。（図 6.3(f)）
- 「中心 2 秒の立ち止まり」（温度差 5℃）
ピークは正と負だが、立ち止まった際の電位が小さく、出力信号が零となる時間が長くなる。零出力が一定時間を超えると、判定区間を区切るため、2 つの通行動作が発生したと誤って判定する。（図 6.3(g)）

表 6.1 通行判定の結果

Table 6.1 Experimental results of counting pedestrians

通行動作(各50回)	動作内容	温度差約20℃			温度差約15℃			温度差約10℃			温度差約5℃		
		正判定	特定不可	誤判定	正判定	特定不可	誤判定	正判定	特定不可	誤判定	正判定	特定不可	誤判定
1人歩行、1人通行	0.5～2m/s	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%
	3m/s	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	52%	48%	0%
	4m/s	100%	0%	0%	100%	0%	0%	80%	20%	0%	0%	100%	0%
	5m/s	100%	0%	0%	100%	0%	0%	56%	44%	0%	0%	100%	0%
立ち止まり	中心より20cm手前1秒	100%	0%	0%	88%	0%	12%	96%	4%	0%	80%	20%	0%
	中心より20cm手前2秒	94%	0%	6%	66%	0%	34%	98%	0%	2%	32%	68%	0%
	中心1秒	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%
	中心2秒	100%	0%	0%	100%	0%	0%	36%	40%	24%	0%	100%	0%
	中心より20cm奥1秒	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%
	中心より20cm奥2秒	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%
2人近接通行	間隔30cm	100%	0%	0%	88%	0%	12%	90%	0%	10%	100%	0%	0%
	間隔60cm	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%
2人双方向通行	間隔1秒	94%	6%	0%	100%	0%	0%	96%	0%	4%	100%	0%	0%
ポット運搬通行	速度0.5m/s	0%	0%	100%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	100%	0%	0%
	速度1.0m/s	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%
段ボール運搬通行	速度0.5m/s	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%
	速度1.0m/s	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%



© 2013 Information Processing Society of Japan

他の通行動作に誤って判定される場合

- 「2人近接通行」(温度差 10, 15°C)
「双方向通行」と同様な波形となり、区別できない。(図 6.3(h))
- 「双方向通行」(温度差 10°C)
上記と逆で「2人近接通行」と同様な波形となり、区別できない。(図 6.3(h))
- 「中心2秒の立ち止まり」
ピークは++であるが、立ち止まった際の電位が小さく、+-ピーク間でゼロ出力の時間が長くなり、2つの通行動作が発生したと誤って判定される。(図 6.3(i))

まとめ

人感センサネットワークによる人の行動抽出をより定量的なものとするため、エリアの入退箇所に安価な焦電型赤外線センサを用いた人数カウンタを設置し、エリア毎の在場人数管理を実施することを考えた。デュアル型の焦電型赤外線センサを用いた通行判定方式を提案し、通常の1人の通行に加え、「立ち止まり」、「近接通行」、「双方向通行」、「運搬通行」といった通行動作に対し、人と床の温度差を変えながら実験を行った。人と床の温度差が小さくなる場合、および1人の通行以外の動作の場合は正しく判定できない比率が多くなる。しかし、通常の応用ではそれらの頻度は少なく、提案方式はかなり良い精度で通行判定可能であるといえる。

今後は判定方式の改良と実環境での検証実験を行う予定である。検証実験では、実環境での判定精度の測定と適用可能なアプリケーションの検討、想定していない通行動作や環境変化に対する判定結果の評価と対策を行う。

謝辞 本研究の一部は三菱電機株式会社の委託を受けて、広島工業大学にて実施しました。ここに記して謝意を表すものとします。

参考文献

- 1) C. R. Wren, E. M. Tapia, "Toward Scalable Activity Recognition for Sensor Networks," 2nd Int' Workshop on Location- and Context-Awareness, Dublin, May, 2006
- 2) C. R. Wren, Y. A. Ivanov, "Ambient Intelligence as the Bridge to the Future of Pervasive Computing," IEEE Int' Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition, September, 2008
- 3) 大澤奈々穂, 枝澤一寛, 松下雅仁, 森一之, 信太優子, 秦淑彦, "人動態情報を用いた省エネ可視化方法の提案," 電気学会C部門大会, September, 2010
- 4) 秦淑彦, 正木英行, 木藤太貴, 伊藤太一, "人感センサネットワークを用いたスマートビルー焦電型赤外線センサによる人物通行判定に関する一検討ー," 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 112, No.188, pp.13-18, August, 2012
- 5) 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

- 6) 高橋史忠, 進藤智則, 内田泰, "魔法のUI 第3部: UIを超えてー全CMOSセンサに距離画像, 空間をモデル化するクローラー," 日経エレクトロニクス, No.1081, pp.50-59, April, 2012
- 7) 帷子京市郎, 中村克行, 趙卉菁, 柴崎亮介, "レーザセンサを用いた歩行者通過人数の自動計測手法," 情報科学技術レターズ, 5, pp.145-148, 2005