

焦電型赤外線センサによる通行判定方式 —1 人用出入口での通行判定—

森淑彦^{†1} 室中菜緒^{†1} 中西柚花^{†1} 藤井貴久^{†1}

ビル利用者の行動に基づき、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を実現するため、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。人の有無（動きの有無）だけでなく、通行する人数を計測するため、デュアルエレメント型のセンサに対して適切な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。既に、ゲート通行への適用を想定したプロトタイプを開発し、種々の通行動作に対する実験を行い、実現可能性を確認している。今回、ゲートが設置されない1人用の出入口における通行判定を考える。建物の構造上、センサは出入口の真上から少し離れた天井に設置するため、斜め方向に通行する動作が発生し、従来の方法では正しく判定できない。そこで、間口よりも広い範囲を検知するために、複数の検知範囲を有する単一のセンサを用いる方式と、複数のセンサを用いる方式を提案する。提案方式のアイデアと判定アルゴリズム、通行実験とその結果について報告する。

Counting Pedestrians with PIR Sensors at an One-Person Open Doorway

TOSHIHIKO HATA^{†1} NAO MURONAKA^{†1} YUKA NAKANISHI^{†1}
TAKAHISA FUJII^{†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 one or some pairs of detecting areas detects numbers and directions of pedestrians. When the pedestrians are restricted to walk through only a pair of detecting areas by partitions, we have already confirmed its feasibility according to experiment for various passing movements with various temperature difference between the pedestrians and a floor. We are now trying to count people walking through a doorway. The doorway is about one meter width and only one pedestrian can pass through it and the door is open. The sensor can be attached on a ceiling near the doorway not the doorway itself. The sensor has to detect the pedestrians walking in various directions and in a larger area. We propose a method with one sensor having multiple pairs of detection areas and another with multiple sensors having a pair of detection areas. We describe the methods and show some experimental results.

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]。これらの研究では、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。ゲート通行への適用を想定

したプロトタイプを開発し、種々の通行動作に対し、人と床の温度差を変えて実験した。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ている[3][4]。

今回、ゲートが設置されない1人用の出入口における通行判定を考える。建物の構造上、センサは出入口の真上から少し離れた天井に設置するため、斜め方向に通行する動作が発生し、従来の方法では正しく判定できない。そこで、間口よりも広い範囲を検知するために、複数の検知範囲を有する単一のセンサを用いる方式と、複数のセンサを用いる方式を提案する。

本報告では焦電型赤外線センサとゲート通行用の判定方式を説明した後、1人用出入口用の提案方式について述べ、有効性を確認するための実験と結果について報告する。

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

2. 焦電型赤外線センサによる通行判定

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 2.1 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 2.2(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。

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、

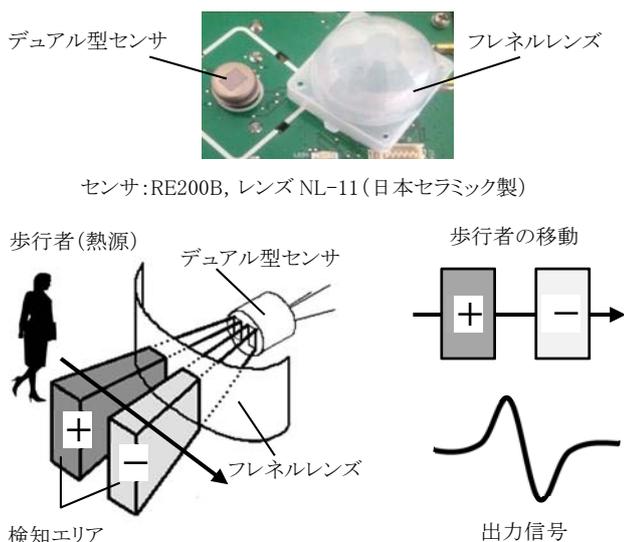
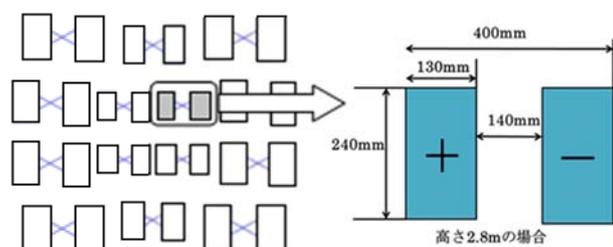


図 2.1 デュアル型センサと検知信号

Figure 2.1 Dual type PIR sensor and its output signal



(a)一般に利用される検知エリア (b)一組の検知エリア

図 2.2 フレネルレンズによる検知エリア

Figure 2.2 Fresnel lens and their detection areas

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。

2.2 ゲート通行用の通行判定方式

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 2.2(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る。また、通行者が図 2.1 に示す方向で検知エリアを通行するよう誘導するために、通行ゲートやパーティションを設置する。1人の歩行、走行、立ち止まりと2人の近接同方向、双方向に対する出力波形を表 2.1 に示す。

表 2.1 通行動作に対する出力波形

Table 2.1 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: +- 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		ピーク: +-+-(+) 2番目と3番目のピーク の振幅が小さい
「近接同方向」 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以上の場合 ピーク: +-+-
「双方向」 1人が通過した後、 2s以内に他の1人が 逆方向に通過		時間間隔が短い場合 ピーク: +-+-+ 3番目が緩やかなピーク
		時間間隔が長い場合 ピーク: +-+-+

の振幅が大きな波形が出力される。これは、斜め通行により、2人が同時に+の検知範囲を通過するためである。

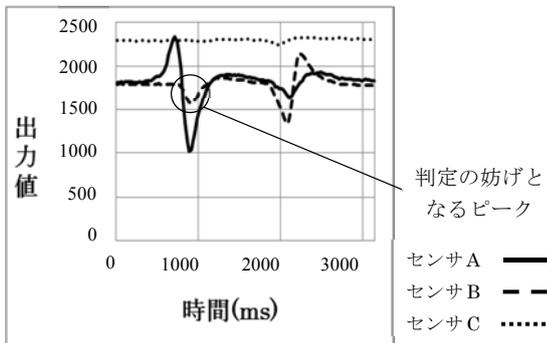


図 5.2 判定の妨げとなるピーク

Figure 5.2 A peak that should be removed for the decision

5.2 判定アルゴリズム

3つのセンサからの信号を統合的に利用した判定方式を以下に示す。これは④～⑥の問題にも対応する。

① 各センサにおけるピーク検出

センサ毎にピークを検出する。問題④に対応するため、緩やかなピークも検出する。あるセンサが4つの真のピークを検出する、あるいは一定時間動きがなく通行判定区間を終了すると、このセンサがトリガセンサとなり②の処理を行う。

② 統合判定に必要なピークの選択

トリガセンサに対して、ピーク数が4の場合は最初と2番目のピークを、ピーク数が2または3（通行判定区間終了）であれば全てのピークを統合判定のためのピークとして選択する。次に、トリガセンサでないセンサの真のピークから、選択されたトリガセンサのピークと発生時刻に近いピークを判定用のピークとして選択する。ピーク数が4で統合判定をする場合は、トリガセンサの2番目と3番目のピークの間時刻以前に発生したピークを選択する。通行判定区間終了で統合判定する場合は、その終了時刻から一定時間以前に発生したピークを選択する。

③ 選択されたピークから不要なピークを削除

1人の通行動作により複数センサでピークが発生する。全てのピークの組み合わせに対して通行判定を行うと、組み合わせが多くなり効率的に判定できない。そこで、同じ通行動作から発生したピークの一つだけを残し、他を削除する。符号が同じで発生時刻に近いピークを同じ通行動作によるものと判定し、振幅の小さいピークを削除する。

④ ピークのパターン、発生時刻と振幅値による通行判定

基本的には各センサのピークパターンの組み合わせで、人数と通行方向を判定する。振幅比は双方向と立ち止まりの識別、発生時刻は近接同方向と立ち止まりの識別に利用する。

6. 実験

6.1 実験方法

図 6.1 に示す通行判定装置を天井に取り付け、4章と5章の実験と同様な通行動作で、往復5回ずつ行った。床面と人の温度差は単一センサの場合は5℃、10℃、15℃、3センサの場合は15℃である。

単一センサの判定アルゴリズムは通行判定装置のマイコン上で動作し、処理結果をLAN経由でパソコンに伝送する。また、3センサの場合は、各通行判定装置でピーク候補を検出してLAN経由でパソコンに伝送し、その後の処理は全てパソコン上で行う。

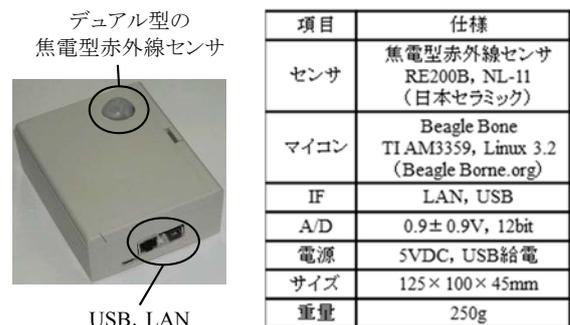


図 6.1 通行判定装置

Figure 6.1 Prototype device for counting pedestrians

6.2 単一センサ方式に対する通行実験

表 6.1 に、各通行動作に対して正しく判定した正答率を示す。参考として、3つの検知範囲を有する同じセンサを使い、ゲート通行用アルゴリズムで判定した結果も記載している。

表 6.1 単一センサ方式の通行判定結果 (正答率%)

Table 6.1 Experimental results of counting people with a sensor

通行動作	単一センサ アルゴリズム			ゲート通行用 アルゴリズム		
	15℃	10℃	5℃	15℃	10℃	5℃
1人歩行	100	100	94	100	100	73
立ち止まり	99	88	79	81	94	72
近接同方向	97	99	92	99	100	43
双方向	74	81	80	63	64	20
全ての動作	93	92	86	86	90	52

全般に高い正答率が得られており、通常の通行動作である1人歩行はほぼ100%、立ち止まりと近接同方向も5℃以外は88%以上の正答率である。双方向は74%～81%と他と比較して低くなっている。ゲート通行用アルゴリズムの結果と比較すると、全体として正答率が向上しており、④と⑥の対策による効果が現れている。

ゲート通行でも確認された問題であるが、温度差が小さくなると振幅が小さくなり、ピークが検出されず正答率が

低下している。

その他、正しく判定できない事項を以下に示す。

- 双方向と立ち止まりにおいて、ピークパターンと振幅が同様の波形が発生し、区別できない場合がある。閾値を変更することである程度改善できると思われる。
- 振幅比によるピークの真偽判定を行わなかったため、削除できない偽のピークがある。しかし、この判定を行うと副作用が大きく、別の方法を考えねばならない。

6.3 3 センサ方式に対する通行実験

表 6.1 に、各通行動作に対して正しく判定した正答率を示す。ゲート通行用アルゴリズムの正答率は、通行する位置と方向の最も近い検知範囲を有する1つのセンサの判定結果である。

表 6.1 単一センサ方式の通行判定結果 (正答率%)

通行動作	単一センサ	ゲート通行用
	15°C	15°C
1人歩行	100	86
立ち止まり	90	48
近接同方向	92	69
双方向	95	53
全ての動作	94	64

全般に高い正答率が得られており、通常の通行動作である1人歩行が100%、それ以外の通行も90%以上正しく判定されている。ゲート通行用アルゴリズムの結果と比較すると、全ての通行でかなり正答率が高くなっている。立ち止まりと双方向では、問題②と③の対策による効果が現れている。

正しく判定できない事項を以下に示す。

- 双方向と立ち止まりにおいて、ピークパターンと振幅が同様の波形が発生し、区別できない場合がある。閾値の判定条件を追加することで改善できる可能性がある。
- 同じ通行動作から発生するピークを全て正しく削除できない。
- 複数人の通行において、判定に必要なピークではないピークが選択される場合がある。判定に必要なピーク選択の方法を改良できる余地がある。

6.4 総合評価

表 6.3 に 6.1 および 6.2 で示した通行判定結果と、ゲート通行の判定結果をまとめて示す。この表のゲート通行はゲートで仕切ることにより1つの検知エリアを通行するようにした場合の結果であり、1人用出入口の通行をゲート通行用アルゴリズムで判定したものではない。

表 6.3 1人用出入口およびゲート通行での通行判定結果
Table 6.3 Experimental results of counting pedestrians passing through a one-person doorway and passing between partitions

通行動作	1人用出入口				ゲート通行		
	3センサ	1センサ			15°C	10°C	5°C
	15°C	15°C	10°C	5°C			
1人歩行	100	100	100	94	100	100	100
立ち止り	90	99	88	79	90	90	90
近接同方向	92	97	99	92	100	100	100
双方向	95	74	81	80	70	90	100
全ての動作	94	93	92	86	90	95	98

1人用出入口の3センサについては、まだ温度差15°Cのデータしか得られていないが、単一センサの15°Cの結果と比較すると、立ち止まりと近接同方向は正答率が5~9%低く、双方向は21%高くなっている。立ち止まり、近接同方向、双方向は連続して4個以上のピークが発生する動作であり、パラメータの設定などによりトレードオフがあるため、3センサは双方向、1センサは立ち止まりと近接同方向において、良い結果になったと考えられる。しかし、図 6.2 に示すように、双方向において2人が異なる角度で同時に検知範囲に存在すると、3センサの場合は2つのセンサで各々の通行に対応する信号が出力され通行を正しく識別できるが、1センサの場合は2人の通行動作が合成された波形となり正しく識別できない。従って、1センサの場合、双方向の判定を改善するには限界がある。

1人用出入口は通行ゲートによる動きの規制がないにもかかわらず、ゲート通行と比べてそんな良い結果が得られているといえる。

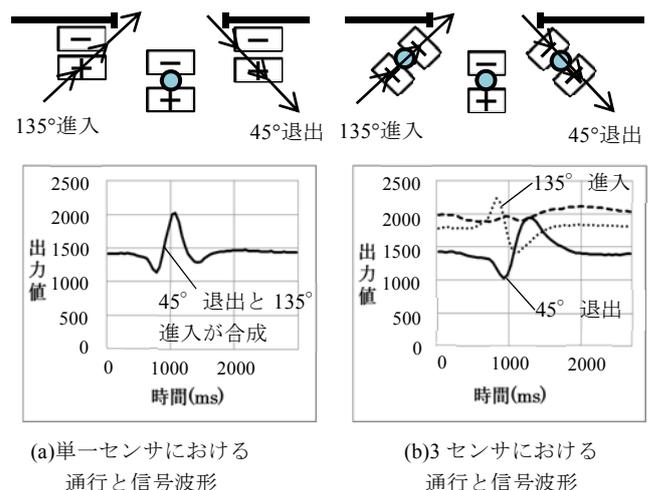


図 6.2 双方向 45° 退出→135° 進入における信号波形
Figure 6.2 Wave shapes of walking outward in 45 degree and inward in 135 degree

7. まとめ

1 人用の出入口における通行判定として、間口よりも広い範囲を検知するために、複数の検知範囲を有する単一のセンサを用いる方式と、複数のセンサを用いる方式を提案した。種々の通行動作から得られる信号波形に基づき判定アルゴリズムを考え、通行実験を行った。両方式とも、通常の通行である1人歩行はほぼ100%、その他の通行も比較的高い正答率であり、ゲート通行と比べてもそんな色ない判定ができていたことを確認した。

今後は、実環境での検証実験を行う予定である。また、同時に複数人が通行できる廊下や出入口での通行判定についても取り組んでいく。

謝辞 平素より貴重なご助言を頂く三菱電機株式会社 松下雅仁部長に深謝致します。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 秦淑彦, 麻生圭祐, 比良健人, 福庭涼, 永瀬司, "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," 情報処理学会研究報告, Vol.2013-UBI-37, No.12, pp.1-8, March, 2013
- 4) 秦淑彦, 神田貴大, 山崎有祐, 大光茜, 三浦晃平, "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過判定方式の改良についてー," 情報処理学会研究報告, Vol.2014-UBI-41, No.5, pp.1-8, March, 2014
- 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) 池村翔, 川合俊輔, 藤吉弘亙, "距離情報を用いた Haar-like フィルタリングによる人検出," 画像センシングシンポジウム, 2010
- 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