

回転型焦電センサアレイによる人体位置の計測 ーアクティブセンシングによる可能性の検討ー

松本 瞬^{†1} 小林 尚登^{†1}

概要 本稿では焦電型赤外線センサを回転させることにより、その性能向上をはかることを試みる。提案する手法は、焦電型赤外線センサを反復回転させ、予め測定した環境バイアスを差し引くという方法である。このような手法で、従来は検出出来なかった静止した対象物も検知出来るようになり、さらにはその位置も特定出来るようになる。本稿では、幾つかの実験によりこの可能性を証明した。この提案した手法は、焦電型センサのみならず、超音波システム、レーダシステム、赤外温度検知システムなどの多くのセンサシステムに適用可能である。

Active sensing is that a sensor influences to a subject, and is observing the phenomenon

SHUN MATSUMOTO^{†1} HISATO KOBAYASHI^{†1}

Abstract This paper considers to improve the performance of pyroelectric sensors by rotating them. By letting sensors rotate and subtracting the prerecorded biases, pyroelectric sensors can detect static objects and identify their position, where conventional pyroelectric sensors can only detect existence of moving objects. This paper confirms the facts by several experiments. This method can be applied for other sensor systems, i.e., ultra sonic sonar system, radar system, ultra red thermo system and so on.

1. はじめに

対象とする物理量を非侵襲で受動的に計測する静的センシングに対して、アクティブセンシングとはセンサ側から何らかの働きかけを行い通常では得られなかった情報を得るものである。代表的なものでは超音波等を対象に照射して物体の形や物体までの距離を測るソナーやレーダー等である。アクティブセンシングの定義は拡大的に用いられ、センサの自律的な動きによる性能向上もアクティブセンシングと呼ばれる。昆虫の目は網膜を微小振動させることで、視覚情報を増やしているがこれもそのひとつの例と言えるだろう。この研究はこのようなアクティブセンシングの一例として天井に設置した焦電型赤外線センサを回転させることにより、センサの性能向上を試みる。この焦電センサは一般に人感センサと呼ばれるものと同一であり、現在トイレなどの照明の自動点灯に広く用いられている。しかし、利用中にもかかわらず一定時間後は消灯してしまう事実も良く知られている。焦電センサは赤外線の放射量の変化に反応するため人体が運動していないとこれを検知できないからである。しかしこの時センサ本体が動いていれば熱源の動きがない場合でも検知が可能となるだろう。

2. 焦電センサによる人体測位システム

赤外線による人体の監視システムは、スマートハウスや介護施設での行動、安全管理など人体の位置測位が必要となる分野での応用を念頭にさまざまな研究がなされている。焦電センサを使うシステムでは照明環境にかかわらず利用可能で、カメラと異なり通常プライバシーが問題になるような場所での監視を続ける事ができる点が優れている。[1]そこで検知範囲をずらした複数の焦電センサを用いてそれぞれの出力から人体の位置を推定する焦電センサアレイに関する多くの研究 [2] [3] [4]が行われている。しかしこれらの先行研究では焦電センサは人体が静止している場合には反応しないという問題を解決していない。そこで本研究は、アクティブセンシングの概念を導入し、センサ本体を巡回運動させ、対象となる熱源が静止していても相対的に動く状態にすることで静止した人体の測位を試みる。

この目標は二つの段階に分けて達成されるものとする。

- まず一つのセンサで静止した熱源を検知
- 次にアレイ上に配置されたセンサによって領域内の位置を特定する。

^{†1} 法政大学大学院デザイン工学研究科システムデザイン専攻ユニバーサルメカトロデザイン研究室
Hosei University

3. 焦電型赤外線センサの特性について

ここではまず焦電型赤外線センサの素子としての特性を述べ、それを運動させることに関する考察を行う。

3.1 焦電素子

焦電センサに使用される焦電素子は熱量等に反応し分極する。この特性を利用して、レンズによって外界の赤外線を集光することで発生した熱量を電圧に変換する。この際使われるレンズはフレネルレンズと呼ばれ、複数の焦点を持つ。しかし、この時起きる分極は空気中のイオンと結合することでその変化をすぐに打ち消してしまう。結果としてこのセンサは人体の運動によって発生する熱量の変化分に反応する微分型の出力となる。

参考文献[5]

3.2 素子の反応における極性について

前節に述べた焦電素子の分極は、熱量によってだけでなく、振動などにも反応してしまう。このことは焦電素子がジャイロセンサなどに用いられるのと原理的にはほぼ同じであることから予想できる。

そこでこの素子を入感センサとして使用する場合、複数の組の素子が分極する方向を反転接続する構成が一般的である。こうすることで対になる素子に同時に発生するような分極は打ち消しあうことになる。つまり衝撃や、気温の変化によってレンズで監視される範囲の温度が一様に変わるような場合である。

参考文献[5]

本研究で使用したパナソニック社製 NaPiOn [6]センサはこの構成を4素子で行っているが、この時センサは対になる素子のどちらか一方が分極するような場合に反応を示す。これがセンサ検知ゾーンの極性となる。

この検知ゾーンは対になる極性を持ち、その二組のゾーンがフレネルレンズの焦点の数だけ存在することになる。今回使用した NaPiOn センサの検出範囲は26個の単焦点レンズの投影と2組の検出ゾーンの組み合わせで52個に分割される。

参考文献[6]

3.3 センサの応答特性について

前節まででセンサの素子特性を述べた。本節では固定したセンサで赤外線を放射する運動体を計測する場合と、このセンサ自体を回転運動させた場合の出力を比較し応答特性を述べる。

まず(図1)は天井に固定したセンサの下を赤外線放射体(人体)が通過、往復した様子である。

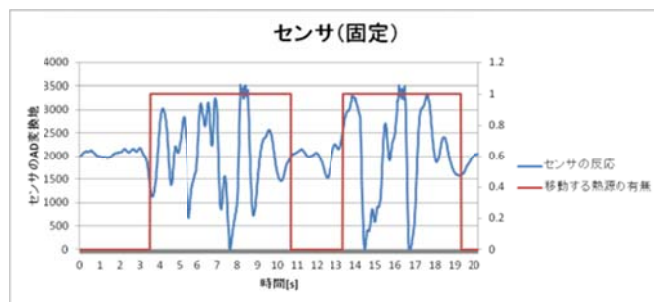


図1 センサ直下を熱源が往復した様子

この場合、人体が入るまではセンサの出力は静定状態にあり、人体が検知範囲内に入り通過するまでの間は振動状態になることがわかる。この振動が激しい時は範囲内に運動する熱源があると判断できる。この時立ち止まるなどすると範囲内に人体があっても反応は静定する。次に、このセンサの光軸を回転軸として ± 4.5 度往復させた場合の反応を示す。

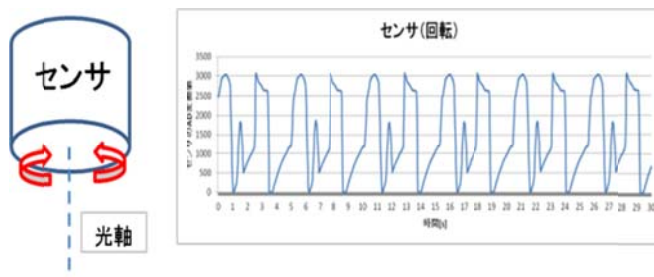


図2 回転するセンサの出力

この実験ではセンサの下には人体は無い。しかしグラフ(図2)を見て分かるようにセンサは周期的な反応を示している。これは人体がなくても通常の環境下では温度分布はばらつきを持っており、センサ自体が回転することでその赤外線量の変化分に反応していると思われる。またこの実験には回転運動にステッピングモータを利用したが、この時モータの1step分の回転は(図3)となる。

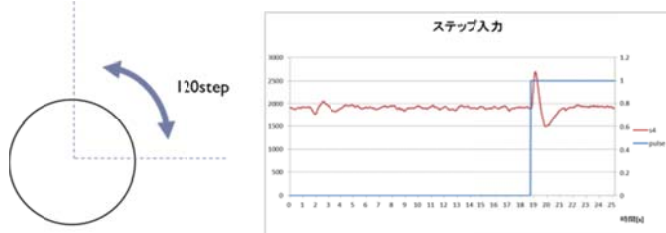


図3 ステップ応答

この時の1step分の変化は環境の温度分布がある状態に遷移する際のステップ応答と見なせると考える。図からもわかるように、ステップ入力に対して、単に変化量の微分を出力しているわけではなく振動成分があることがわかる。つまりこのセンサは赤外線の入射量を入力として、二次遅れ系であることがわかる。さらにこの反応が収束するまでに3秒のラグがあることもわかる。

これを回転させた場合、このステップ応答がステッピングモータの1周である480step分量み込まれたような形の出力を得るだろう。

4. 人体検知システムの手法

4.1 静止している熱源の検知

(図2)の実験において示したシステムにおいて静止した熱源を検知する手法を示す。センサを往復回転させる場合、熱源の有無にかかわらず反応を示す事は先にも述べた。この熱源が無い場合の出力は、センサ本体を一定の場所で回転させる限りにおいて周期的なものになる。これはセンサの回転角度に依存する一定のバイアス成分だと解釈できる。そこで回転しているセンサの下に人体がない場合の出力をバイアスとして、以降の出力から角度ごとに減算することでこれを取り除くことができる。

人体がない環境下での一周分のサンプリングが必要になるが、その後は検知範囲内に人体などがあれば温度分布が変化するのでその反応を検知できる。この方法により静止した人体の有無を区別できることを示したのが(図4)(図5)である。この実験はまず人がいない状態でセンサを回転させ、環境バイアスをサンプリングする。一定時間経過後、範囲内に人体が侵入し立ち止まる、さらに一定時間経過後に退去する様子を示したものである。この実験ではセンサ回転の一周は約4秒となっている。



図4 バイアス除去前の出力の様子

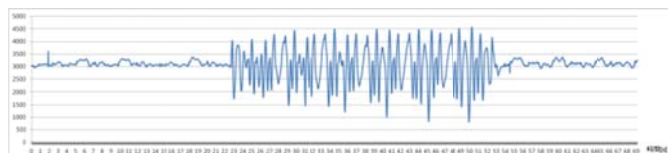


図5 バイアス除去後の様子

ノイズ除去後は人体がある時にのみセンサ出力の振動がみられることが分かる。

4.2 焦電型赤外線センサアレイについて

前節においてセンサ本体の運動により静止した熱源を検知できることを示した。次の段階として、このセンサをアレイ上に配置することで熱源の位置を推定するシステムを検討する。

4.2.1 熱源の位置測定システムの構成

本研究にあたって熱源の位置特定における焦電センサアレイの基本的な構成は、文献[2]によるアレイを参考としている。この構成の概略を述べると、まず光軸をずらした複数の焦電センサを円状に並べる。(図6)

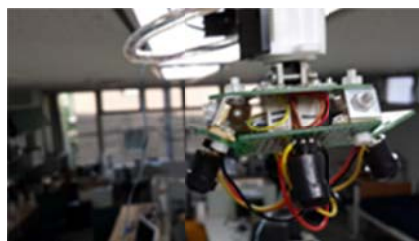


図6 天井にアレイ状に配置された4つのNapionセンサ

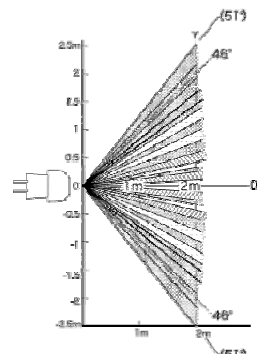


図7 Napionセンサの検出範囲

4つのセンサはそれぞれ91°の円錐状の検出範囲を持つ。その検出範囲を重複するように光軸を30°傾けて配置する。この傾けたセンサの検知範囲を(図8)の様に天井に平行な平面で切るとする。

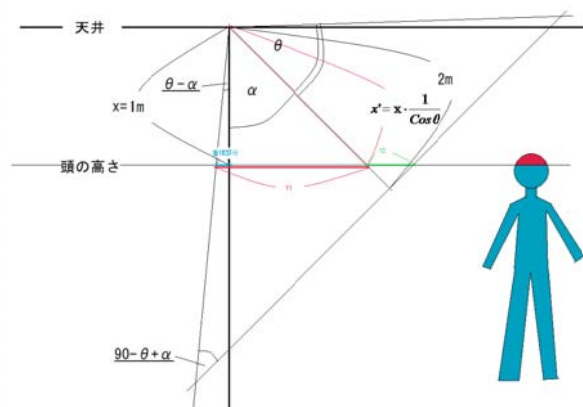


図8 センサ検知範囲の円錐を横から見た図

この時の断面は楕円状になり、天井方向から見るとこの4つのセンサの検知範囲は(図9)のようになると予想される。

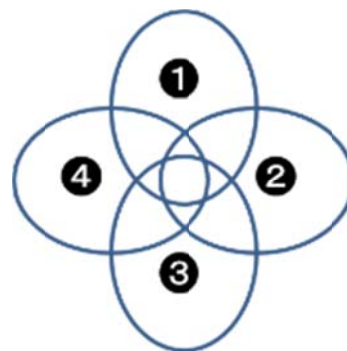


図9 重複部分を持つ4つのセンサ検知範囲

4つのセンサのうちどれかが反応していれば、そのセンサの向いている方向に熱源があると分かる。この方法ではさらに、検知範囲が重複していることにより、この4つのセンサのうち複数が反応する場合には、反応しているセンサの検知範囲の重複している部分に熱源があるだろうと推測できるのである。

4.2.2 回転型センサアレイによる位置計測

上記の焦電センサアレイは4つのセンサで広範囲にわたって人体の位置を推定できる点が優れていると言える。しかしながらやはりこのシステムでは焦電センサを用いる以上静止した熱源を計測することは出来ない。そこで本論ではこの焦電センサアレイシステムを運動させる事により、静止した熱源についても同じく位置測位を行うことについて検討する。以下構成を(図10)に示す。

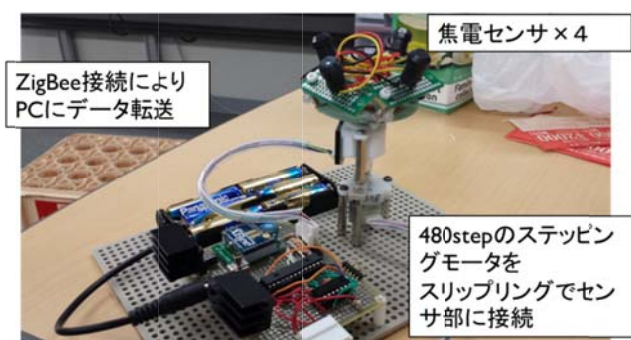


図10 回転型センサアレイの写真

先に述べた4つのセンサ構成部分をステッピングモータで回転させるシステムを天井に取り付け、P マイクロコントローラ (dsPIC33FJ32MC) により 12bit 分解能による AD 変換を行う。それを ZigBee 規格における無線シリアル通信で PC に転送する。このデータ送信はステッピングモータの 1 ステップ毎に行われているので、データの転送速度はモータの回転速度に従う。この4つのセンサはステッピングモータによって ± 45 度往復回転しており、4.1 節と同じ手法によって環境バイアスを除去している。使用したステッピングモータは一周 480step であるためこの処理を一周 240step ごとに行っている。この一周分の出力は熱源が動かないとすればその位置に応じた特定のパターンを示すはずである。

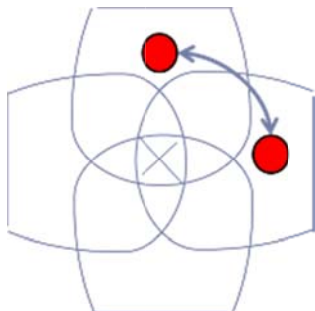


図11 センサから見た熱源が移動する様子

この(図11)はイメージ図となるが、センサ検知範囲図

の13に分割された範囲内のどれかに丸で表された静止した熱源があるとする。センサ全体が回転しているので、この熱源はセンサから見ると回転運動を繰り返しているように見える。するとこの4つのセンサは熱源が検知範囲内に入出入りする度に反応する。その反応のパターンでこの熱源が分割された13の検知ゾーンのどれに存在するのかを判別できるはずである。この手法ではそのセンサ出力の FFT 結果をパターン認識により分類して熱源の位置との対応を見出す予定である。[7]

4.2.3 回転型センサアレイの実験結果

実際に回転型焦電センサアレイによる出力を計測した実験を示す。まず天井付近にこのセンサを取り付け、直下に検知ゾーンを実寸で作図したマットを敷き、マット上の検知ゾーンに人が立つという実験を行った。



図12 検知範囲を作図したマット

そしてこのマットのうち4つの検知ゾーンで順番に立ち止まってセンサの出力を計測した。実験の経路を(図13)に示す。

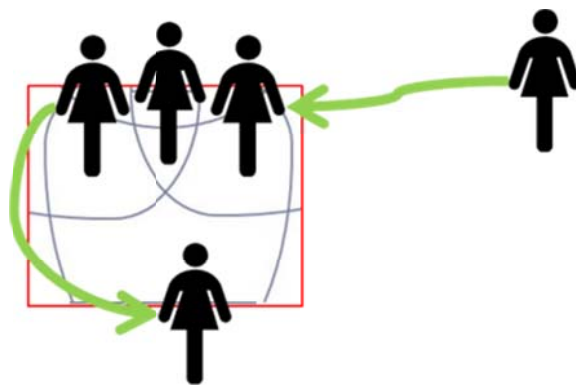


図13 実験の経路

この実験による出力と、人が立っている位置の相対関係が分かるように図に示したものが(図14)になる。4つのセンサの出力がそれぞれの熱源の位置によって異なるパターンを示していることが分かる。

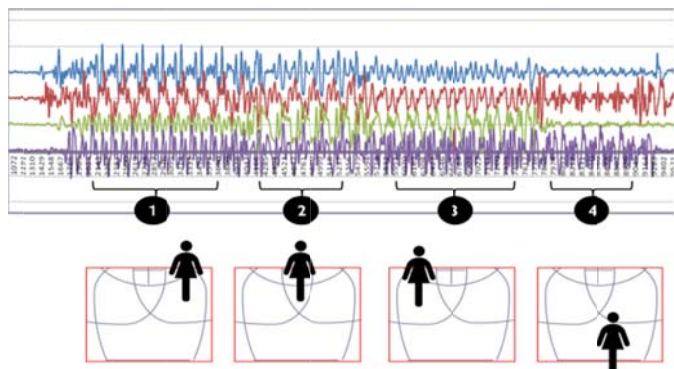


図 14 熱源と波形の相関関係

5. 焦電センサによる人体測位システムまとめ

本来は静止している熱源を計測できない，焦電センサにおいて，アクティブセンシングの手法を利用することでこの点を改善すると言う試みは一定の成果を挙げた．冒頭に述べたように本研究の目標は以下の二つであった．

- まず一つのセンサで静止した熱源を検知
 - 次にアレイ上に配置されたセンサによって領域内の位置を特定する
- という二つの段階のうち，静止した熱源を検知するという目標は達成できた．二つ目の段階については，領域ごとに異なるパターンが出力されることは示した．今後このパターンを 13 個の領域でサンプリングした結果を一周期毎のセンサ出力とマッチングすることで熱源の位置を推定できる可能性があるだろう．

6. 今後の展望

焦電型センサは安価・簡便なものであり，広く使われている．ここでは，このようなセンサに対してつぎの 2 つの手法を提案した．

- 1) 旋回させる．
- 2) 環境バイアスを予め測定し減算する．

この手法を適用することで，センサの探知範囲の拡大，分解能の向上，静止対象の検知が可能となる一例を示した．この手法は焦電型センサのみならず，通常の赤外線センサ，超音波ソナー，レーダー等の幅広いセンサシステムに適用可能と思われる．

7. 参考文献

- 1) 藤波努，杉原太郎，山崎竜二，高塚亮三，寺井紀裕．認知症高齢者介護への技術適用に伴う問題とその解決に関する考察．出版地不明：The 25th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2011.
- 2) 河本満，池田剛，幸島明夫，車谷浩一．焦電型赤外線センサアレイを用いた一測位手法．出版地不明：情報処理学会研究報告，2010.
- 3) 加納梢，中嶋信生，大野広．赤外線センサによる人体移動検出特性の検討．電気情報通信学会．出版地不明：IEICE Technical Report, 2009.
- 4) QiHao. Multiple Human Tracking and Identification with Wireless Distributed Pyroelectric Sensors. 出版地不明：Docotoral Thesis, Duke University, 2006.
- 5) NaPiOn シリーズ 性能図．
- 6) Panasonic 製品一覧．(オンライン)
<http://www3.panasonic.biz/ac/j/control/sensor/human/napion/>.
- 7) 宇田川健，山崎裕二，床境誠．赤外線センサに HMM を適用した物体の認識手法．出版地不明：情報処理学会研究報告．