

環境電磁波ノイズ人感センサを用いたタイル型センサノードのアンテナサイズによる検出時間特性の評価

藤崎佑太¹ 大村廉¹

概要: 身の周りにもモノにセンサや通信機器を取り付け、生活を支援する研究が進んでいる。これらは人を対象としているため、人の有無をサービスのトリガとして使用することが多く人検出センサが使用される。人検出センサは人を瞬時に検出する必要があるため常にセンシングしている必要があり低消費電力であることが望ましい。これに対し、我々は環境内の電磁波ノイズを利用することで電源供給を必要とせず人検出を行うことができるセンサを使用したタイル型センサノードを提案している。これまでの研究により、タイル型センサノードにより人の検出が可能であることを示したが、人の検出速度が歩行者の歩行速度に追いつかず検出できない場合がある問題がある。そこで本研究では、タイル型センサノードの設計時に変更可能なパラメータの内センサ回路である Cockcroft-Walton 回路の昇圧段数とノイズ源との距離、アンテナ-GND 間のギャップサイズ、アンテナサイズに着目して人検出速度を向上させることができるパラメータの評価を行った。その結果、ノイズ源との距離により検出速度は低下してしまうが CW 回路の昇圧段数を変更することでノイズ源との距離による検出速度差を小さくすることができる事がわかった。また、アンテナ-GND 間のギャップ距離は 8 cm 以上あればタイルに人の荷重が加わったタイミングで検出することが可能であることがわかった。その際のアンテナサイズとしては 40cm×40cm が最も検出速度が速いことがわかった。

1. はじめに

近年、Internet of Things(IoT)と呼ばれる、様々なモノにセンサや通信機器を取り付ける試みが増加している。そのひとつとして、家の中にあるモノにセンサや通信機器を搭載して電化製品などを自動的にコントロールすることで家に住んでいる人の生活を支援する研究がされており、そのような家はスマートホームと呼ばれる。スマートホームではセンサを搭載する対象は電化製品だけではなく扉やイスといった非電化製品も考えられる。また、センサデータの種類も様々であり、電化製品の状態や部屋の温度及び湿度、人の有無の検出などが考えられる。人の有無の検出はユーザを検出することから、人を対象としたサービスのトリガとして様々なサービスを実現する際に非常に重要となる。人を検出することができる手法としては、赤外線焦電センサ(Passive InfraRed: PIR センサ)、超音波センサ、カメラなどを利用した手法が存在するが、これらは動作に電力を必要としている。人の有無をサービスのトリガとする場合、人を瞬時に検出する必要があるためセンサは常に動作していなければならない。そのため、センサを間欠動作させることは難しく、センサそのものの消費電力が低いことが望ましい。

これに対して Ohmura らは、商用電源などから漏れ出る電磁波ノイズを利用して無電源で人の検出を行う研究が行われている[1][2]。このセンサを利用したアプリケーションとして我々は、タイルにこのセンサを組み込むことで、タイル上の人の有無を検出することができるタイル型センサノードを提案している。しかし、現在までにこのタイル型センサノードにより人検出が可能であることは確認でき

ているが、人の検出速度が歩行者の歩行速度に追いつかず検出できない場合があるという問題がある。

そこで本研究では、タイル型センサノードの変更可変パラメータの内、回路パラメータの一つである昇圧段数、アンテナ-GND 間のギャップサイズ、アンテナサイズに着目して人検出速度を向上させることができるパラメータの評価を行った。

2. 関連研究

スマートハウスなどを想定し、室内にセンサを設置し人を検出する研究として、超音波センサを用いた手法[3]、焦電センサ(Passive InfraRed: PIR センサ)を用いた手法[4]、カメラを用いた手法[5]が研究されている。超音波センサを用いた手法は、壁に複数の超音波センサを設置することでその RTOF(Round trip time of flight, 送信した音波が反射して帰ってくるまでの時間)の変化から人位置検出を行っている。センサノードを壁に配置していることから配線による電源の確保がしやすいという利点がある。しかし、超音波は人以外のモノにも反射するため人とセンサの間に遮蔽物があった場合、人を検出することは困難である。そのため、室内の備品の配置の自由度が低下してしまうという問題がある。焦電センサを用いた手法は、複数の焦電センサを内包したセンサタワーを2つ設置することで人の検出を行っている。また、焦電センサのレンズを変更することでそれぞれの焦電センサに異なる検出範囲を持たせ、対象の身長や横幅も検出している。しかし、焦電センサはその特性上検出範囲内の赤外線の温度変化から人を検出しているため、静止している人を検出

¹ 豊橋技術科学大学

することは困難である。カメラを用いた手法では、カメラにより得られる映像から人検出だけでなく行動量の推定も行っている。カメラを用いることで多くの情報が得られるため行動認識などに応用することができるが、画像解析などの計算処理が必要になり多くの計算資源を必要とする。また、プライバシーを侵害する恐れがあるため設置場所が制限される。環境の電磁波ノイズや電解の変化を利用して人検出を行う研究[6][7]が行われている。アンテナを使用し人の検出や動作の認識を行うことでセンサの省電力化を行うことができているが、環境内にノイズを発生させる信号源を必要とするため信号源用の電力が必要である。

これに対し、Ohmura らの提案しているセンサでは、電力源として、商用電源から漏れ出る電磁波ノイズを利用することで、無電源で人検出を行うことができる人感センサを提案している。詳しくは次章で説明を行う。

3. 電磁波ノイズ式人感センサ

Ohmura ら[1][2]が提案しているセンサは、周辺環境のノイズを主に商用電源(50Hz/60Hz)から漏れ出る微弱な電圧電流をもつ交流電源とみなしアンテナにより収穫し、整流昇圧回路により直流電圧に変換し出力する。このとき、アンテナ周辺の人の有無によりアンテナにより収穫されるノイズ量が変化し、出力される直流電圧が変動する。つまり図1のように、アンテナに人が近づくことでアンテナにより収穫される環境電磁波ノイズ量が増加し、人が居ない場合に比べて出力が高くなる。この出力の差により、人の検出を行っている。この方法では、電磁波ノイズを受信するアンテナと交流の微弱なノイズを整流および昇圧する回路のみから構成される。

整流昇圧回路はダイオードとコンデンサのみから構成される Cockcroft-Walton 回路 (CW 回路)を用いている(図2)。CW 回路に交流信号が入力されると、ダイオードの整流作用によって電圧のバイアスによりコンデンサが充電と放電を繰り返す。放電時にはコンデンサが直列となるため、入力電圧よりも高い電圧を出力することができる。ダイオードとコンデンサは受動素子であるため動作に電力を必要としない。アンテナと整流昇圧回路の両方で電源を必要とせず無電源で人の検出を行うことができる。環境内の電磁波ノイズを利用して人検出を行うため、室内などに使用できる環境が制限されるが、人に対して特別なデバイスを身に着ける必要はなく静止状態の人を検出することが可能である。

過去の研究では、Ohmura ら[2]は電磁波ノイズの発生源として商用電源を利用している蛍光灯に着目し、センサのアンテナと検出対象である人の距離による出力について評価を行っている。また、センサ構成では整流昇圧回路として CW 回路を使用し、それを構成するダイオードとコン

デンサによってセンサ出力が異なることを示した。Ikeda ら[1]はアンテナサイズや CW 回路に使用する素子の漏れ電流に着目し出力電圧の比較を行っている。また、金属箔を床と結合させ GND 用アンテナとすることでセンサ回路上の GND を安定させ出力信号の改善を行っている。

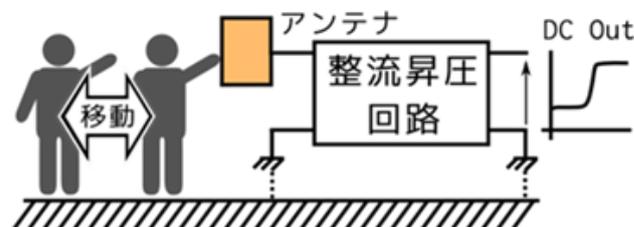


図 1 電磁波ノイズ式人感センサ概念図

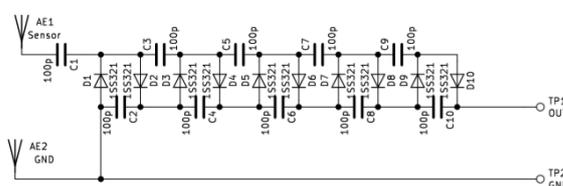


図 2 電磁波ノイズ式人感センサ回路図

3.1 タイル型センサノード

我々は、Ohmura ら[1][2]の環境内の電磁波ノイズをもとに人を検出するセンサを使用したアプリケーションとしてタイル型センサノードを提案している。このセンサノードは図3のように4つの部品に分けられ、人検出用アンテナ、GND 用アンテナ、アンテナ間の絶縁体、センサ回路から構成される。人検出用アンテナはタイル上面に設置され、環境電磁波ノイズの収穫を行っている。このサイズにより環境電磁波ノイズの受信量が変化する。GND アンテナは床下の鉄筋などと結合することでセンサ回路の GND を安定させている。このサイズにより回路の GND の安定度が変化する。人検出用アンテナと GND アンテナは向かい合わせに配置されることになるためキャパシタを構成してしまう。そのためアンテナ間に絶縁体を挟んでアンテナ-GND 間にギャップを作る必要がある。またギャップを作ることでセンサ回路を配置する空間を作り出している。電磁波ノイズによる人感センサは非接触でも人の検出が可能であること、室内ではカーペットなどの敷物が敷かれていることが多いことなどから厚さ 4 mm のタイルカーペットを人検出用アンテナの上に設置している。センサ回路である CW 回路については、Ohmura ら[1]により人の有無により出力電圧の差が大きくなるとされたダイオード(1ss321lf)と 100pf のコンデンサ(絶縁抵抗 100GΩ)を用いて昇圧段数が 10 段の CW 回路を作成している。この CW 回路はスイッチの切り替えにより 10 段階に出力を調整可能である。無線モジュールとしては MONOWIRELESS 社の TWELITE-

DIPを用いている。Ohmuraらによって提案されている人感センサは空気中の電波を電源として利用するレクテナ(レクティブイクエーションアンテナ)を用いたエネルギーハーベスティング技術と同一のものであるため、無線モジュールへの電源供給として活用することが期待できるが、無線モジュールを安定して動作させるために現状ではボタン電池を使用して動作させている。

このタイル型センサノードは単体で動作させた際は人の有無という単純な情報しか扱うことはできないが、図4のように敷き詰め複数設置することで室内における人の位置を検出することができる。しかし、現在までにこのタイル型センサノードにより人の検出を行うことができているが検出速度が遅い場合があり、人の歩行速度によっては検出できない場合がある問題が確認されている。

タイル型センサノードの設計時に変更可能パラメータとしては、アンテナサイズ、アンテナ-GND間のギャップサイズ、GNDアンテナサイズ、CW回路の素子パラメータが挙げられるが、CW回路の素子パラメータは先行研究[1]により選定が行われている。そこで本研究では、タイルの変更可能なパラメータの内、CW回路の昇圧段数とノイズ源との距離、アンテナ-GND間のギャップサイズ、アンテナサイズに着目して検出速度を向上させるパラメータの評価を行う。



図3 タイル型センサノード構造図

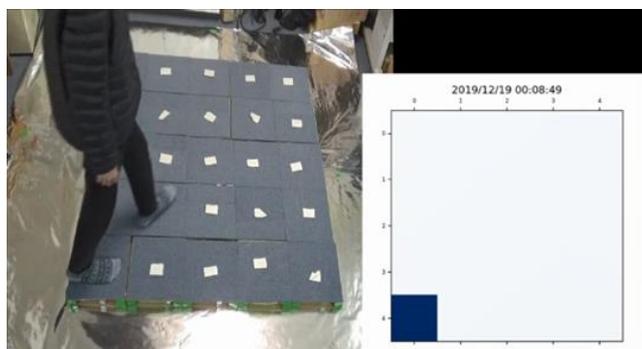


図4 複数設置による人の位置検出

4. 実験環境

実験環境を図5に示す。周辺の環境ノイズの状況とし

ては、実験を行う周辺(2m圏内)の機器は電源に接続せず、床から2.6mの天井に設置された蛍光灯のみを動作させノイズ源とする。タイル型センサノードの設置条件としては、蛍光灯の真下の位置にタイル型センサノードを設置する。その際、床の状況を理想環境に整えるために商用電源のアースに接続したアルミシートを実験環境の床に敷いて行う。人検出速度の測定を行う際は、測定を行うタイル型センサノードの隣にもう一台タイル型センサノードを設置する。検出にかかる時間の測定は、タイル型センサノード内部に感圧センサを設置し、感圧センサの90%電圧値から無線モジュールのスレッシュホールド電圧値に変化するまでの時間を検出にかかる時間として測定する。

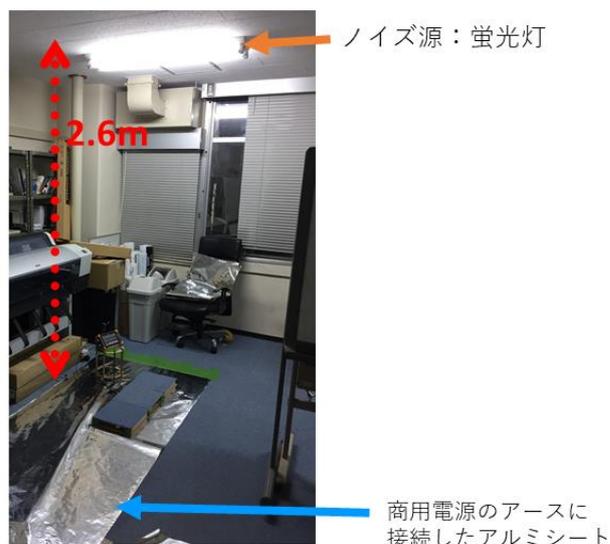


図5 実験環境

5. CW回路の昇圧段数とノイズ源との距離

5.1 実験内容

CW回路の昇圧段数はセンサの出力に影響を及ぼすパラメータであるが、このパラメータによる検出速度への影響は現状明らかになっていない。また、環境内の電磁波ノイズは室内の設置位置により大きさが異なり検出速度に影響を及ぼすと考えられる。そこで、CW回路の昇圧段数とノイズ源との距離を変化させ、検出速度への影響を評価する。

変化させるCW回路の昇圧段数としては、2段、4段、6段、8段、10段の5パターンで実験を行った。変化させるノイズ源との距離としては、蛍光灯の真下の地点から0m、0.5m、1mの3地点で実験を行った。実験環境としては図5の実験環境で実験を行った。測定は各パラメータで10回行い、その平均値により評価を行った。

5.2 結果

CW回路の昇圧段数とノイズ源との距離を変更した際の人検出にかかった時間を図6に示す。各距離で検出にかかる時間が最も短くなるCW回路の昇圧段数は0m、およ

び0.5mの時に4段, 1mの時に6段となった。この時の検出にかかる時間は0m地点で0.13秒, 0.5m地点で0.29秒, 1m地点で2.59秒となった。ノイズ源との距離ごとに検出にかかる時間が最短の昇圧段数が異なっており, ノイズ源との距離が大きくなることで得られるノイズ量が低下し昇圧にかかる時間が増加しているためだと考える。このことから, ノイズ源との距離ごとにCW回路の昇圧段数を適切に設定することで検出速度の差を縮めることが可能であることがわかった。

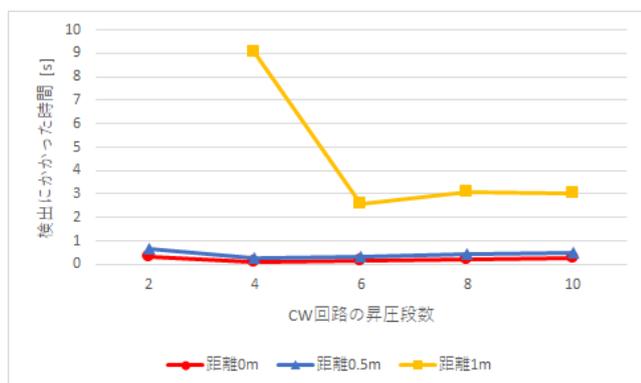


図 6 CW 回路の昇圧段数とノイズ源との距離による人検出にかかる時間

6. アンテナ-GND 間のギャップサイズ

6.1 実験方法

アンテナ-GND 間のギャップサイズはアンテナ-GND 間の静電容量に影響を及ぼすパラメータであるが, このパラメータによる検出速度への影響は現状明らかになっていない。そのため, アンテナ-GND 間のギャップサイズを変更し, 検出速度への影響を評価する。

変化させるアンテナ-GND 間のギャップサイズとしては, 4 cm, 8 cm, 12 cm, 16 cm と等間隔に 4 パターンで実験を行った。アンテナサイズとしては 30 cm×30 cm のアンテナを使用した。CW 回路の昇圧段数は 4 段にして使用した。実験環境としては図 5 の実験環境で実験を行った。

アンテナ-GND 間のギャップサイズが変わることで, 蛍光灯-アンテナ間の距離が変化しアンテナにより得られる環境電磁波ノイズが変化してしまう可能性がある。そこで, タイル型センサノードを設置するアルミシートの下に絶縁体を設置し, アンテナ-GND 間のギャップサイズ毎に高さを変えることで, 蛍光灯-アンテナ間の距離が変化しないように実験を行った。測定は各パラメータで 10 回行い, その平均値により評価を行った。

6.2 結果

アンテナ-GND 間のギャップサイズを変更した際の人検出にかかる時間を図 7 に示す。その結果, アンテナ-GND 間のギャップサイズが大きくなるほどタイル型センサノード

に荷重が加わってから検出にかかるまでの時間が短くなっている。これは, アンテナ-GND 間の距離が大きくなったことでアンテナ間の静電容量が小さくなり回路への入力が大きくなったと考える。そのため, 検出速度が向上したのではないかと考える。人の検出速度としては速いほど良いと考えるが, アンテナ-GND 間のギャップサイズが大きくなるとタイル型センサノードが大型化してしまう。そのため, 最低限必要な検出速度としてはタイル型センサノードに荷重が加わったタイミングで検出できれば問題ないと考える。そのため, 今回の結果から最低限 8 cm 以上のアンテナ-GND 間のギャップサイズがあれば問題ないと考える。

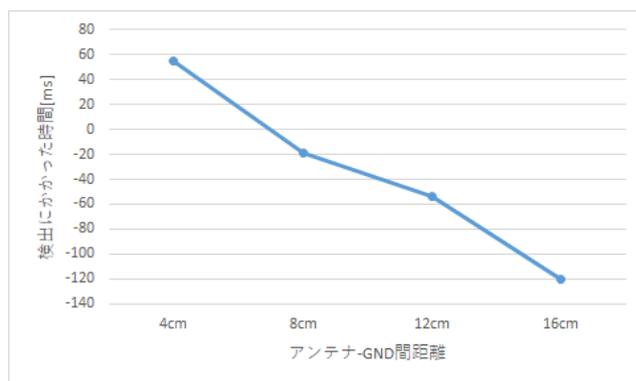


図 7 アンテナ-GND 間のギャップサイズによる人検出にかかる時間

7. アンテナサイズ

7.1 実験内容

アンテナサイズは環境電磁波ノイズの受信量に関わるパラメータであるが, このパラメータによる人検出速度への影響は現状明らかになっていない。そのため, アンテナサイズを変更し, 検出速度への影響を評価する。

変化させるアンテナサイズとしては, アンテナの上に設置するタイルカーペットの多くが 50 cm×50 cm 以下であることから, 30 cm×30 cm, 40 cm×40 cm, 50 cm×50 cm の 3 パターンで実験を行った。CW 回路の昇圧段数は 4 段にして使用した。タイル型センサノードのアンテナ-GND 間のギャップサイズは 5 章での結果をもとに 8 cm のギャップサイズを使用した。実験環境としては図 5 の実験環境で実験を行った。測定は各パラメータで 10 回行い, その平均値により評価を行った。

7.2 結果

アンテナサイズを変更した際の人検出にかかる時間を図 8 に示す。アンテナサイズが大きいほど検出速度が速くなることは無く 40 cm×40 cm のアンテナが最も検出速度が速くなっている。まず, 30 cm×30 cm のアンテナよりも検出速度が速い理由としては, アンテナサイズが大きくなったこ

とで環境電磁波ノイズの受信量が増加したことが理由として考えられる。そして、40 cm×40 cmのアンテナよりも50 cm×50 cmのアンテナの検出速度が遅い理由としてはアンテナサイズが大きくなったことで逆に受信効率が落ちてしまった、もしくはアンテナのサイズに対してアンテナ-GND間のギャップサイズが足りずアンテナ間の静電容量が大きくなり回路への入力落ちたため検出速度が低下していると考えられる。

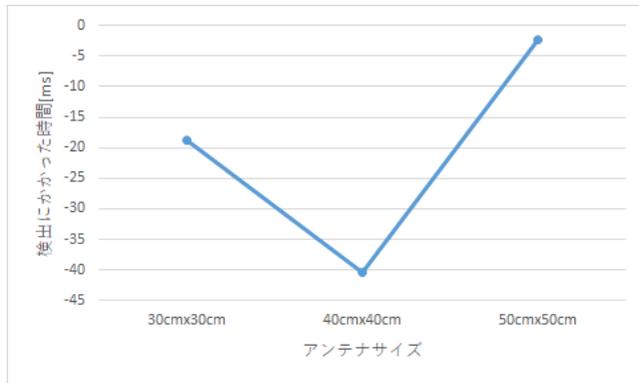


図 8 アンテナサイズによる人検出にかかる時間

8. 考察

先行研究[1]でもアンテナサイズを変更しセンサ回路の出力を評価している。その際の結果としては、アンテナサイズが大きくなるほど出力電圧そのものは大きくなり、人の居る状態、居ない状態での電圧差は小さくなる。しかし、アンテナサイズが60 cm×80 cmを超えると人が居ない場合の方が出力は高くなるという結果が得られている。今回行った実験のアンテナサイズの範囲は30 cm×30 cm, 40 cm×40 cm, 50 cm×50 cmであり60 cm×80 cmを超えておらず、アンテナとして使用するのには支障はないと考えられる。アンテナサイズが大きくなることで出力電圧が大きくなるという事は検出速度も速くなっていると考えられる。この実験と今回の実験の相違点としてはアンテナの設置位置の違いが挙げられる。先行研究[1]ではアンテナを床から1mの台の上に設置しておりアンテナ-GND間の静電容量が極めて小さくなっていると考えられる。そのため今回のアンテナ-GND間のギャップサイズが8cmという条件で50 cm×50 cmのアンテナを使用した際は、アンテナ-GND間の静電容量がアンテナからCW回路へのノイズの入力を低下させ40 cm×40 cmのアンテナを使用した際と比べて検出速度が低下していると考えられる。そのため、タイル型センサノードを設計する際はアンテナ-GND間のギャップサイズによって最も検出速度が速くなるアンテナサイズが変わってしまうことを考慮する必要があると考えられる。

9. 結論

本研究では、タイル型センサノードのCW回路の昇圧段数とノイズ源との距離、アンテナ-GND間のギャップサイズ、アンテナサイズに着目して検出速度を向上させるパラメータの評価を行った。

CW回路の昇圧段数とノイズ源との距離を変化させた際は、ノイズ源との距離が大きくなることで検出速度が大きく低下してしまうがCW回路の昇圧段数をノイズ源との距離ごとに適切に設定することで昇圧段数を統一した場合に比べ検出速度の差を小さくすることができる。アンテナ-GND間のギャップサイズを変化させた際は、8 cm以上のギャップサイズが存在すれば、人の荷重が加わったタイミングで人の検出が可能であることが分かった。また、アンテナサイズを変更させた際は、40 cm×40 cmのアンテナサイズが最も人検出速度が速く、これ以上アンテナサイズを大きくしても検出速度の向上にはつながらずむしろ検出速度が低下してしまうことがわかった。

10. 今後の課題

本研究では、センサノードの設計時、設置時に変更可能なパラメータを変化させ検出速度の評価を行ったが、検出対象である人の体格などの身体的パラメータなどが変化した際に検出速度への影響があるのか不明であり検討する必要がある。また、人検出にかかる時間に比べ、人が離れてから検出なくなるまでの時間が長いという問題があり、回路の改良により解決することが可能なのか検討する必要がある。

これらの実験とともに、提案するタイル型センサノードの実用性を高めていく予定である。

参考文献

- [1] Kazuki Ikeda, Ren Ohmura, Exploring Suitable Electrical Elements on Human Detection Sensor Using Electromagnetic Noise, The 2nd International Workshop on Mobile Ubiquitous Systems, Infrastructures, Communications and Applications(MUSIC AL 2019), 2019
- [2] Ren Ohmura and Kentaro Higa, "Development of Zero Power Human Detection Sensor Using Environmental Electric Noise," Proceedings of International Conference Mobile and Ubiquitous System: Computing, Networking and Service(MOBILQUTOUS'16), ACM, Hiroshima, Japan, 2016.
- [3] Florian Sainjeon, Sébastien Gaboury, Bruno Bouchard, "Real-Time Indoor Localization in Smart Homes Using Ultrasound Technology," Proceedings of the 9th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (PETRA '16), 2016.
- [4] Sujay Narayana, R.Venkatesha Prasad, Vijay S. Rao, T. V. Prabhakar, Sripad S. Kowshik, Madhuri Sheethala Iyer, "PIR sensors: characterization and novel localization technique," Proceedings of the 14th International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN '15) Page 142-153, 2015.

- [5] Y.Benezeth, H.Laurent, B.Emile., C.Rosenberger: Towards a sensor for detecting human presence and characterizing activity, *Energy and Buildings*, Vol.43, No.2-3, pp.305-314(2011)
- [6] Chon, G., Gupta, S., Lee, T., et al.:An Ultra-Low-Power Human Body Motion Sensor Using Static Electric Field Sensing, 14th ACM International Conference on Ubiquitous Computing(Ubicomp 2012), ACM, pp.99-102(2012)
- [7] Chon, G.,Morris, D., Patel, S.N., et al.:Humantenna: Using the Body as an Antenna for Real-Time Whole-Body Interaction, Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems(CHI '12), ACM, 1901-1910(2012)