

# 入室と退室における人感センサを用いた 人数の計測の精度向上

山本 拓海<sup>1</sup> 串田 高幸<sup>1</sup>

**概要：**大型施設や教育機関では人数を計測し、新型コロナウイルスの感染予防対策である換気や入場規制を行う。新型コロナウイルス対策としてセンサを用いて人数を計測するためには精度の向上が必要である。この時の課題として、2人が同時に入室または退室をした時に2人と判断されず、1人と判断されることがある。そこでセンサの配置を3通り試し、人の入室と退室を検知する実験を行った結果、左右に人感センサを配置することで精度が28%向上した。

## 1. はじめに

### 背景

街中では時折、カウンター（数取器）を手に行き交う人々の数をチェックしている姿が見られる。国土交通省といった行政機関が実施している交通量調査を行っている。これは交通量の変化を観測するだけでなく、渋滞や事故が発生しやすい場所を特定し、道路整備などで緩和措置をとるための重要な資料となる。しかし、世の中で行われている人数カウントには、行政機関だけでなく民間企業が手掛けるものもある。イベントの入場者数を計測したり、企業が新たな店舗をオープンする際に立地条件を判断する材料となる。施設や店舗によっては、店舗運営の戦略や従業員のシフト調整に役立てることを目的として、入室及び退室した人数を計測している。人数計測が必要な理由として、以下の2つが挙げられる。1つめは施設や店舗の来場者数を把握して、今後の運営に活かせる。2つめは三密<sup>\*1</sup>の回避といった、新型コロナウイルスの感染予防対策が取れる。施設や店舗内で「三密の回避やソーシャルディスタンスの確保ができるか」といった視点で、人数計測をしなければならない。その上で来場者数が多い場合は、入場制限や一定時間での入れ替え制を取り入れる対策が必要となる[1]。従来では手動で人数を計測しており、東京工科大学では毎朝スクールバスに乗る人数をカウンターを用いて計測している。本研究ではセンサの配置位置が人の検出精度に与える影響を調査し、最適なセンサ配置を見つける。

<sup>1</sup> 東京工科大学コンピュータサイエンス学部  
〒192-0982 東京都八王子市片倉町1404-1

\*1 密閉・密集・密接を指す

### 課題

人数を計測するための手段として、人感センサを使用する方法がある。人感センサは設置環境や設置方法、対象の動き方といった条件によって検知精度は変動する[2]。1台のセンサだと2人以上が重複して入室した時に、1人として扱われることがある。よって計測結果と実際の人数が一致しなくなる。新型コロナウイルスの感染対策の徹底が強く求められる中で、適切な人数計測ができていないと以下の事態が発生する。施設や店舗内が混雑したことで三密を恐れた顧客が減る。感染予防対策が行き届かず口コミを通して悪評が広がる。

「感染リスクが高い」と判断されると、顧客を失うことがある。施設や店舗の信頼度を維持するためにも、正確な人数計測を行い、感染予防対策に役立てていくことが重要である。また背景で述べたように手動で計測をすれば、誤差はあるが正確な計測が出来る。しかしながら手動で計測するには人手が必要である。

### 各章の概要

第2章では関連研究について述べる。第3章では提案するシステムの具体的な説明と、ユースケース・シナリオについて述べる。第4章では提案したシステムの実装や実験環境について述べる。第5章では実験の評価と分析について述べる。第6章では提案したシステムの議論を述べる。第7章で本研究のまとめを行う。

## 2. 関連研究

Akbarらはカメラを用いた人数の計測方式を提案した[3]。ステレオカメラを用いて通過者を自動計測する方法であ

る。提案手法では、ステレオカメラをゲートの天井から吊り下げ、カメラの光軸を設定して、通りすがりの人を真上から観察できるようにする。このシステム配置では、ゲートに人が集まっている場合、通過する人のデータが取得された画像に重なることはない。また、ステレオカメラを使用することで、取得した画像の人物領域と道路領域を正確に分割することが可能である。更にはカメラに加えて人感センサを用いることで、カメラによって生成された結果を人感センサ信号分析から得られた追加情報を利用して修正される [4]。しかしカメラを用いた計測は、人の移動を追うにはカメラを設置しなければならないため設置コストが高く、必要以上の情報を取得してしまうことからプライバシーの面で適さない [5]。

Singh らは低解像度の温度センサを使用する計測方法を提案した [6]。プライバシーを保護するために、スマートスペースの人々を正確かつ非侵襲的に計測する方法を提案している。人や活動の数が異なる実験の設定で、複数のアルゴリズムを精度評価し、接続コンポーネント法により最大で 100 % の精度が得られることを示している。しかし人数を計測するのに長期の時間がかかる。

Honda らは室内環境における人数推定手法を提案している [7]。この方法では、省エネのための組み込みデジタル信号処理 (DSP) システムに実装されている。背景減算技術を使用して前景を抽出し、抽出された前景のすべての行ピクセルと調整可能な人間のテンプレートを提案された重み付けモデルで重み付けし、それらの重み付けされたピクセルを累積して人数を推定する。しかし人間のすべての行動を記録しないとけず、通過するだけの人数を計測することが困難である。

Wren らは安価なセンサを複数配置する手法として、赤外線センサを大量に設置した人物動作検出を行っている [8]。数メートル間隔でセンサを格子状に配置し、隣接するセンサノードの反応順序から移動や方向転換、2 人以上の交差を検出している。しかし設置するセンサの数が数百個と多く、設置するコストと維持するコストが高くなる。

また、天井に人感センサを取り付けた人間の屋内位置特定システムが提案されている [9]。センサの配置がシステムパフォーマンスに重要な役割を果たし、センサを部屋の天井に配置すると最良の結果が得られることが示されている [10]。

### 3. 提案方式

#### 基礎実験

提案方法を確立させるため、基礎実験として以下の実験を行った。Wi-Fi と Bluetooth を内蔵するマイクロコントローラである ESP32 を使用する。人感センサは赤外線の変化量を検出するセンサである HC-SR501 を使用する。図 1 のように ESP32 に人感センサを取り付け、通路の右

に設置し 50 人の通過を計測した。測定した結果はブラウザに表示され、50 人になると自動で止まる。50 人は身長にばらつきがあり、通過する時間とタイミングはすべてランダムである。結果は 50 人中 35 人 (70 %) であった。ま

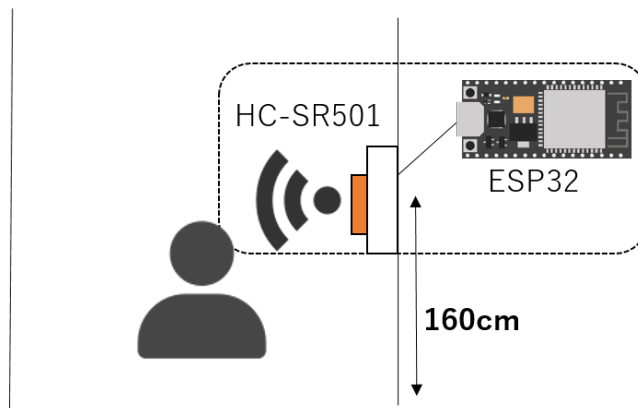


図 1 基礎実験の概要図

た計測する高さにも精度に影響があり、高さを変えて実験を行った。人間の顔の高さ (160cm) だと 50 回中 35 回 (70 %) に対し、肩より下 (130cm) で計測を行うと 50 回中 18 回 (36 %) しか計測がされなかった。以上の実験の結果を図 2 に示す。

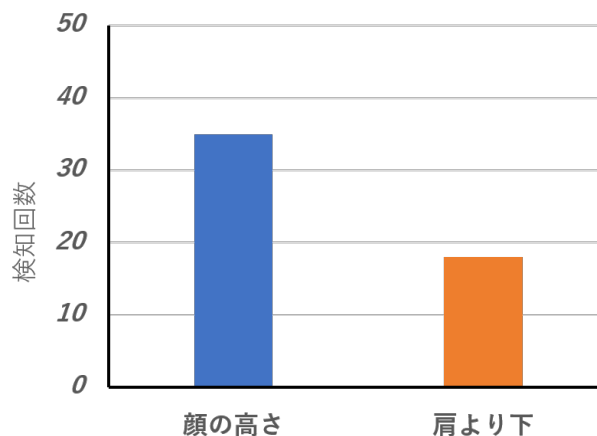


図 2 基礎実験の結果

センサが人間の熱を検知しているため、肩より下のズボンやシャツを着ている部位では計測がしにくい。

今回は日本人の男子の平均である 171cm に基づき\*2、そこから顔の高さに近づけるために 160cm の高さで計測を行うこととした。またここから人感センサの配置と数を変えて新たに 3 つの実験を行った。実験は基礎実験を含めすべての配置を 20 回ずつ試行を行い、平均値を小数点以下で切り捨てた。

\*2 2021 年度平均身長厚生労働省参照

### 3.1 左右対称に配置

1つ目が通路左右にセンサを配置する方法である。図3は本実験の1つ目の配置方法である。左右上下の同じ壁の位置にセンサをそれぞれ設置する。左右のセンサの識別する範囲を被らせないことで、重複して入室した人数を計測できる。

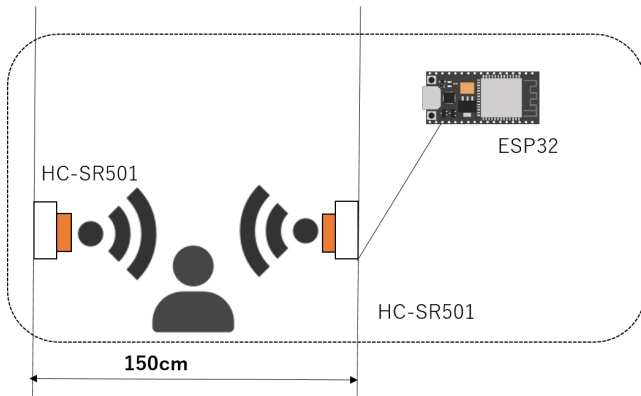


図3 3.1の概要図

### 3.2 天井に配置

2つ目が天井にセンサを配置する方法である。図4は本実験の2つ目の配置方法である。基礎実験で行った計測では頭に近い位置での計測の方が精度がいいことが判明しているため、提案1より頭に近い天井での測定を行った。160cmの高さで計測を行った3.1とは違い、天井の高さである250cmの高さで計測を行う。

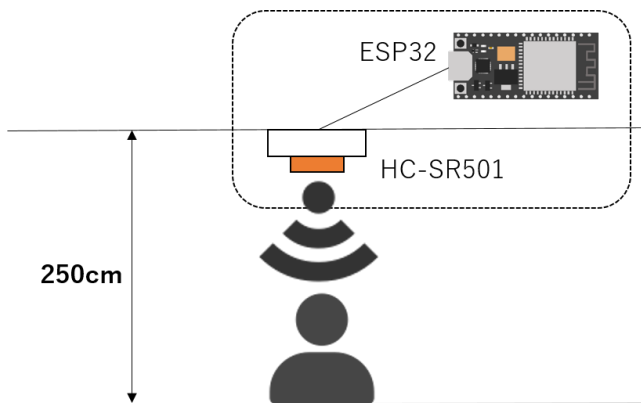


図4 3.2の概要図

### 3.3 左右と天井に配置

3つ目が上記2つを合わせた三つの人感センサを配置する方法である。図5は本実験の3つ目の配置方法である。3.1と3.2の2つを合わせることで更なる精度の改善が得られる。

以上3つの結果と基礎実験の結果を図6のグラフに示

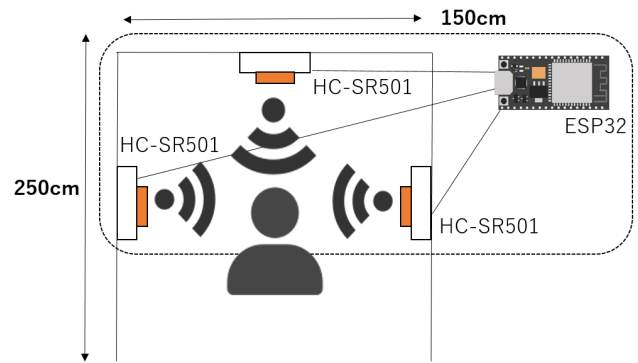


図5 3.3の概要図

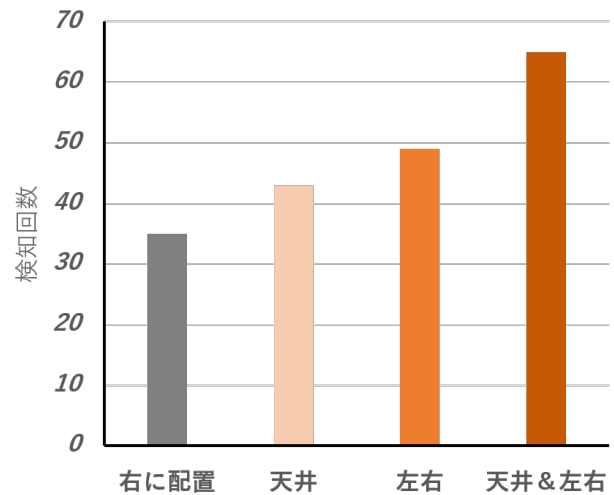


図6 実験結果

す。右に配置した結果と比較したところ左右にセンサを配置すると精度が50回中平均35回(70%)から50回中平均49回(98%)と計28%向上した。また天井に配置した時も50回中平均43回(86%)と、精度は右に配置した結果より16%向上している。しかし三つのセンサを用いた結果は50回ではなく平均65回検知されていた。

### 提案方式

本研究では、人感センサのみを用いた人数の計測の手法を提案する。上記の結果より、一番精度が高かった左右にセンサを配置する提案をする。本研究は設置に関する制限が少なく、他のセンサを使う必要がないので設置の手間やコストの削減ができる。

左右に配置し、通過した人物の左右に近い方のセンサが反応しカウントを行う。通過する人物が右の壁に近いと右のセンサが反応し、左の壁に近いと左のセンサが反応する。よって重複して入室しても左右に近い方から結果を得られる。また3人以上が横に並ぶと真ん中にいる人物に対してセンサが反応しないので、2人が並べて通れる図7のような幅150cmの通路を対象とする。

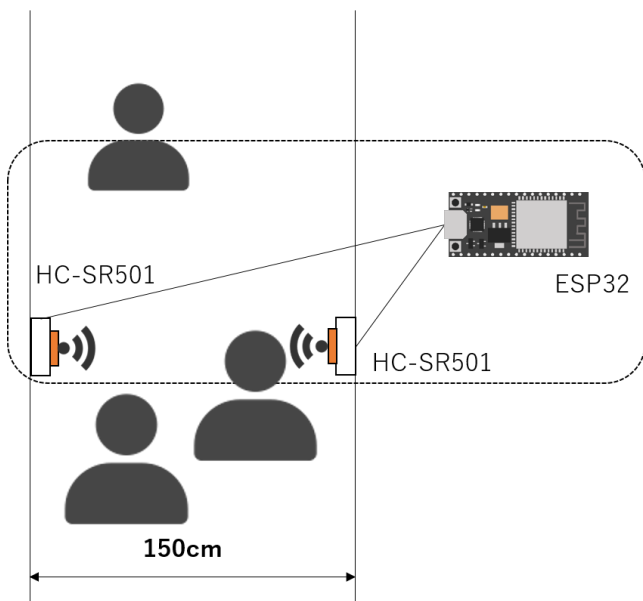


図 7 提案方式の概要図

### ユースケース・シナリオ

本研究のユースケースは、前述した他のセンサが置けないような狭い場所、プライバシーの観点からカメラが使えない状況下である。センサを用いて測定を自動化することで、入口と出口に従業員を配置する必要がなくなり、業務の効率化と工数削減を実現できる。過去の傾向から混雑を予測したり、混雑データの管理ができたりするサービスを選ぶと、管理業務の負担軽減に役立てることも可能である。今回の提案では入室と退室の両方を同時に計測できないため、全員の入室が終わった後に退室することを想定する。よって、大型施設ではなく一度入場したら基本退室することがない映画館の出入口や飛行機の乗客口、小さいライブハウスでの利用を想定する。下記の図 8 はライブハウスにおけるユースケースである。ライブハウスの入口から中に入るまでの通路に人感センサを配置する。ライブハウスでは開演前に全員が入場し、終了後に全員が退室を始める。入室と退室の検知を分けることが可能であり今回の提案に適している。

## 4. 実装と実験方法

### 実装

人感センサの例として、HC-SR501 があげられる。これは、周囲と温度差のある人が動く際におこる赤外線の変化量を検出するセンサである。温度差を検出する為、人体の検出に適している [11]。赤外線を検知して検出範囲内の人間の有無のみを出力する安価なセンサであり、蛍光灯に設置されているものを 2 次的に利用するため少数のセンサでも稼働するシステムを想定する。ESP32 に HC-SR501 を接続し、人の動きの検知ができる状態にする。MicroPython には WebREPL と呼ばれる、ブラウザ上で Python プロ

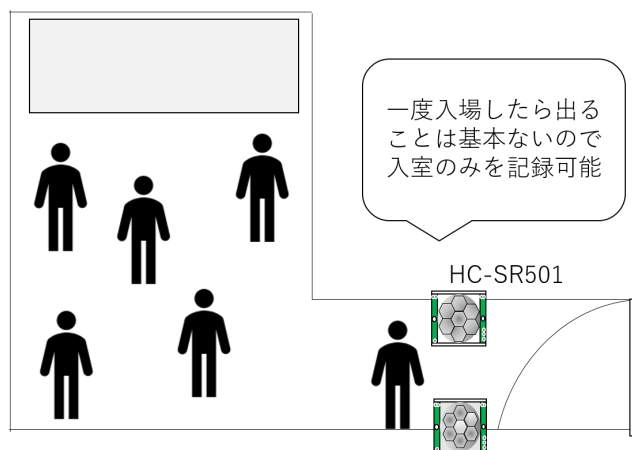


図 8 ユースケース

プトを利用できる機能を使い、モーション検知時 ESP32 から検知回数を ESP32 にファイルとして保存する。ESP32 内に人を検知した時にカウントするプログラム sensor.py を作成及び保存する。sensor.py では人を検知するたびに割り込み処理を行う。図 9 は sensor.py のフローチャートである。a は変数で、人の動きを検知すると図 10 のように a の値が 1 ずつ増えていく。

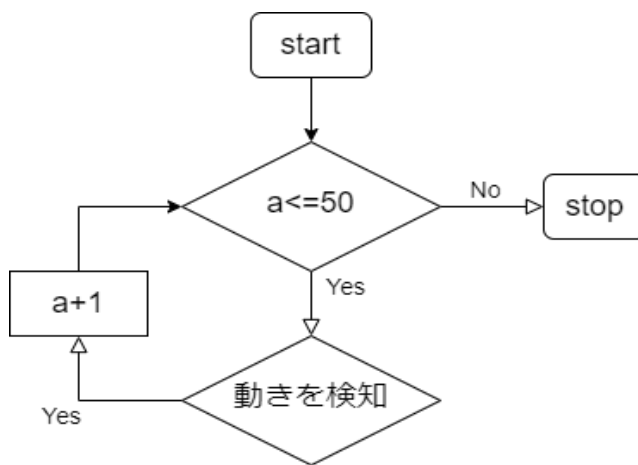


図 9 フローチャート

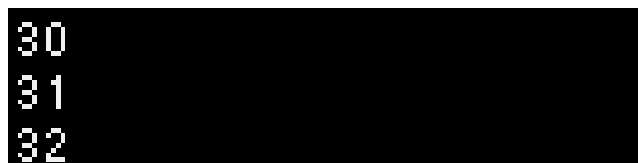


図 10 sensor.py の実行様子

今回の実験では 50 人の通過を行ったため 50 人検知すると自動で止まるようになっている。

## 実験環境

評価実験として提案 1~3 の実験を行う。実験は以下の機材を使用して行った。

- ESP32
  - HC-SR501
  - PC
  - 研究室のサーバーにある VM(Virtual Machine)
- 実験環境のハードウェア構成図が図 11 である。

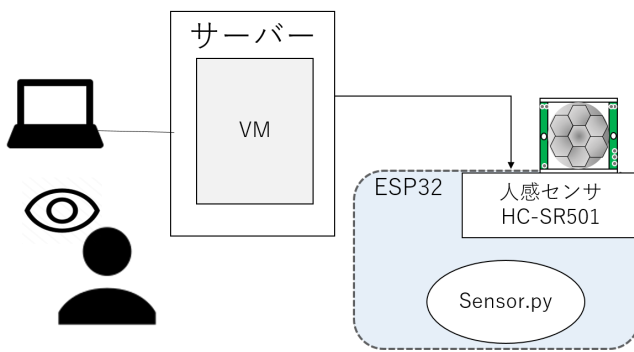


図 11 ハードウェア構成図

HC-SR501 で計測した回数は本研究を行ったクラウド分散システム研究室の Wi-Fi を通じて、ブラウザで WebREPL にアクセスすることによって画面に表示される。実験では、高さ 250cm の幅 150cm の研究室の通路を使い実験を行った。

## 5. 評価手法と分析手法

センサを右に配置した結果と提案手法である左右にセンサを配置した際の精度の差を評価する。センサを右に配置する実験と左右にセンサを配置する実験を 20 回ずつ試行を行い、平均値を小数点以下で切り捨てた。実験結果を図 12 の棒グラフに示す。

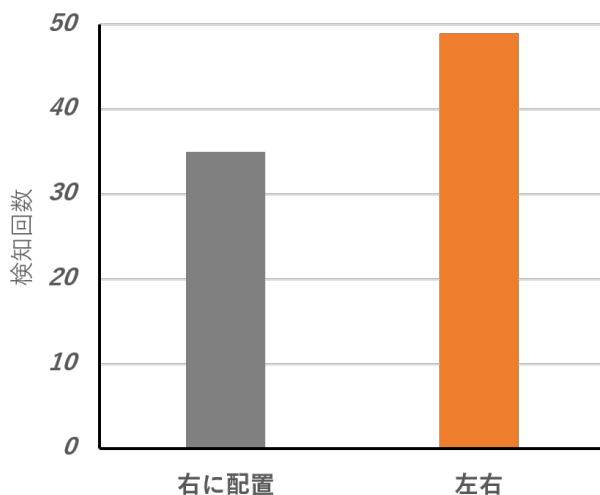


図 12 実験評価

右にセンサを配置したとき 50 回中 35 回検知したことを示す。基礎実験の結果から 50 回中一番精度が高かったのは左右に配置した際の 50 回中平均 49 回という結果になった。左右にセンサを配置する方法は 98 % の精度となる。左右に配置した場合、重複して入室した場合でも、感知するセンサが 1 台のみ動く。人が左右に広がりながら重複して通過してもセンサがそれぞれ検知するため、重複性の排除に適している。

## 6. 議論

今回の提案で人数の計測の精度向上は出来たが、あくまで小規模な状況でしか実験が出来ていない。大規模な実験を行うには、大人数が一方向的に通行する場所の確保と、人材が必要である。

天井に配置した場合、横よりも顔の間隔の差が取れることで重複しても計測が可能である。しかしセンサが 1 台しかないことで 2 人が 1 人として計測され、重複の排除には適さない。天井からの距離を変更し、センサの数を増やすことで天井にセンサを配置した精度の向上ができる。

左右と天井にセンサを配置した場合は、いずれかのセンサで重複して値を取っているため、値が多く出ている。ミリ秒単位で一定の時間内に 2~3 台のセンサが同時に検知すると、計測を 1 回にするといったプログラムを作成し計測することで 50 回に近い値が出せる。

## 7. おわりに

本稿では人数計測時に入室及び退室をした時に 2 人と判断されず、1 人と判断される課題に対し、HC-SR501 の配置を 3 通り試し、設置場所に対する検出精度を評価した。結果は左右にセンサを配置することで右にセンサを配置したときの値より 28 % の向上が見られた。人感センサのみを利用することで低コストでプライバシーが保護された人数計測が実現できた。設置するコストや設置場所によっては有効である。人感センサを用いて人数計測を行うことで、換気や入場規制を設けることで新型コロナウイルスの対策ができる。また、新型コロナが収まっても人数計測は、小売、エンターテインメントの各分野における顧客の行動や嗜好を理解するのに役立てられる。

## 参考文献

- [1] ShubhamSrivastava, XingwangZhao, A. Q.: *Effective ventilation and air disinfection system for reducing coronavirus disease 2019 (COVID-19) infection risk in office buildings, USA, China, sustainable cities and society* edition (2021).
- [2] Ade Irma Purnamasari, A. S.: *Pengembangan Passive Infrared Sensor (PIR) HC-SR501 dengan Microcontrollers ESP32-CAM Berbasis Internet of Things (IoT) dan Smart Home sebagai Deteksi Gerak untuk Keamanan Perumahan*, prosiding sisfotek, 3(1), 148 -

- 154 edition (2019).
- [3] K. Terada, D. Yoshida, S. O. J. Y.: *A Counting Method of the Number of Passing People Using a Stereo Camera*, Dover, New York, 10.1109/iecon.1999.819402 edition (1999).
  - [4] Ali ZiyaAlkarb, A. E.: *A robust system for counting people using an infrared sensor and a camera*, Atılım University, Hacettepe University, Bilkent University, F. Erden et al./Infrared Physics & Technology, sciencedirect edition (2015).
  - [5] Kazuya Muraio, Tsutomu Terada, A. Y. R. M.: *Optimization of Sensor Allocation for Detecting Human Movement by Passive Infrared Sensors in Home Environment*, Graduate School of Engineering, Kobe University Graduate School of Engineering, Kobe University / PRESTO, Japan Science and Technology Agency Fujitsu Laboratories Ltd. Fujitsu Laboratories Ltd. (2011).
  - [6] Singh, S. and Aksanli, B.: *Detecting Multiple People with Low-Resolution Thermal Sensors in Smart Spaces*, 2019 IEEE Sensors, pp. 1–4 edition (2019).
  - [7] Honda, S., F. K. M. K. K. S. and Numao, M.: *Extracting Human Behaviors with Infrared Sensor Network*, 2007 Fourth International Conference on Networked Sensing Systems, pp. 122–125 edition (2007).
  - [8] Wren, C. M.-T.: *Toward Scalable Activity Recognition for Sensor Networks*, proceedings of the international workshop in London and context-awareness(loca 2006), pp. 168-185 edition (2006).
  - [9] Xiaomu Luo, Tong Liu, B. S. Q. L. G. X. L.: *Human indoor localization based on ceiling mounted PIR sensor nodes*, Las Vegas, NV, 2016 13th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC) edition (2016).
  - [10] Saipriyati Singh, B. A.: *Presence Detection and Position Tracking for Multiple People with Low-Resolution Thermal Sensors in Smart Spaces*, San Diego State University, doi:10.1109/sensors43011.2019.8956594 edition (2019).
  - [11] Akbar Juliansyah, Ramlah Ramlah, D. N.: *Sistem Pendeteksi Gerak Menggunakan Sensor PIR dan Raspberry Pi*, jtim : jurnal teknologi informasi dan multimedia, 2(4), 199-205 edition (2021).