

# 歩く動作と落とし物が落下する動作の加速度センサーの計測値の差分を利用した落とし物の早期検知

越後谷 滯<sup>1</sup> 五十嵐 蓮<sup>1</sup> 串田 高幸<sup>1</sup>

**概要:** 日常生活で落とし物をする可能性がある。落とし物をすることによって盗難や紛失の可能性がある。そのため、落とし物は速やかに所有者に知らせる必要がある。落とし物の検知にはスマートタグが使用される。スマートタグとは、BLE(Bluetooth Low Energy)を活用し、スマートフォンと接続することで貴重品などの紛失を防止する製品のことである。しかし、BLEを使用すると接続が切れた時に落とし物と判断するため、早期検知には向いていない。課題はBLEによる検知だと早期発見が出来ないことである。提案では腰に装着されている加速度センサーのY軸のデータと所有物に装着されている加速度センサーのZ軸のデータの差分で落とし物と判定する。基礎実験では落とし物と判定するための基準値となる差分を算出した。腰と落とし物に装着された加速度センサーのデータの差分を10回算出し、その平均値を基準値と設定した。評価では落とし物を検知した時に、所有物を落下させる実験者から落とし物までの距離である検知距離を本提案とスマートタグとで比較する。実験では本提案の検知距離を10回測り、その平均値は1.928mであった。本提案を用いた場合、検知距離は1.928mであった。これはスマートタグを用いた場合の検知距離である20mよりも18.072m短くなり、より速やかに所有者に落とし物を知らせることが可能である。

## 1. はじめに

### 背景

日常的に落とし物は発生しているのが現状である。警視庁から提示されているデータによると、令和4年度の拾得届は3,707,990点である<sup>\*1</sup>。その内財布類は、306,474点で全体の8.3%を占めている。そして、財布類は、上位4品目に位置付けられている。現在の落とし物の検知には、スマートタグがある<sup>\*2</sup>。スマートタグは、無線通信プロトコルのBLEを備えた小型のデバイスである[1]。BLEでスマートタグあるいはスマートフォンとタブレットを接続して利用する。端末同士が接続可能な距離であれば接続される。接続が切れてしまった時スマートフォンが所有者に通知する。この時初めて、所有者は落とし物に気が付く。

IoT (Internet of Things) デバイスの通信規格として、BLEとWi-Fi (Wireless Fidelity) がある。BLEは近距離制御及び監視アプリケーションに適した通信規格である[2]。BLEはBluetooth4.0において標準化されており、低消費電力、低データレートで設計されているプロトコル

である[3,4]。BLEの一般的な用途は、iBeaconベースの位置特定、環境センサーとアクチュエーターである[5,6]。Wi-Fiとは、最も広く展開されているWLAN(Wireless Local Area Network)技術である[7,8]。ネットワーク接続を行うため、サーバとクライアント間のデータの送受信はソケット通信を介して行われる[9]。ソケット通信とは、特定のポートを介してサーバとクライアントを接続し、リアルタイムの双方向通信を行う手法である[10]。IoTデバイスでは加速度センサーを利用することが出来る。加速度センサーとは、重力による加速度を測定するためのセンサーである[11]。加速度を測定し、適切な信号処理を行うことによって、例として傾きや動き、振動や衝撃の示すデータが得られる。加速度センサーはGPSナビゲーションシステムの不感帯補正、建築構造物や機械機構の振動試験に使われているものである[12]。

### 課題

本稿の課題はBLEによる早期検知が困難なことである。スマートタグの検知にはBLE接続の有無をもとに判断する。そのため、接続が切れる距離まで離さない限り、落とし物と判断されない。この時、既に落とし物が目視出来ない距離にある。それにより、取りに戻るまでに他人によって回収や盗難をされる可能性がある。従って、BLEの接続

<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

<sup>\*1</sup> [https://www.keishicho.metro.tokyo.lg.jp/about\\_mpd/jokyo\\_tokei/kakushu/kaikai.html](https://www.keishicho.metro.tokyo.lg.jp/about_mpd/jokyo_tokei/kakushu/kaikai.html) (閲覧日: 2024/01/11)

<sup>\*2</sup> <https://mamorio.jp/about/> (閲覧日: 2024/01/11)

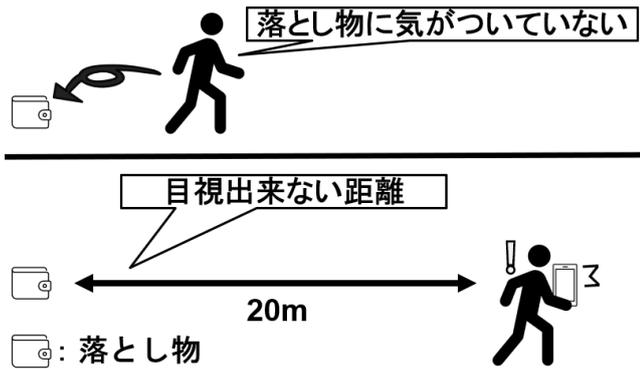


図 1 スマートタグを用いた時の早期に落とし物に気づかないケース

の有無による落とし物の検知では速やかに落とし物を回収することが困難である。

図 1 はスマートタグを用いた時の早期に落とし物に気づかないケースである。例えば図 1 では BLE の接続が切れる 20m の距離で初めてスマートタグが所有者に通知し、落とし物を回収しに行くことが出来る。これは、BLE の接続が切れる距離まで離されないに限り落とし物と判断されない。

## 各章の概要

第 2 章関連研究では IoT デバイスを用いた紛失防止に関する研究について説明する。第 3 章提案では課題に対する提案手法とそのユースケースについて説明する。第 4 章実装では開発したソフトウェアの構成について述べる。第 5 章評価実験では提案手法を評価する実験の方法と結果の分析方法について述べる。第 6 章議論では提案手法について議論すべき内容について説明する。第 7 章おわりにでは本稿の課題、提案、評価について簡潔に述べる。

## 2. 関連研究

モバイル遺失物コミュニティのサポートの先行研究がある [13]。紛失物の発見を、新しいタイプの RFID (Radio Frequency Identification) リーダーを装着したモバイルフォンのプロトタイプ、EPC (Electronic Product Code) 規格の利用、およびモバイルおよびサーバーサイドソフトウェアの作成を提案している。この提案は、ユーザーの所持品の場所を特定し、回収するのをサポートしている。

視覚障害者のための落とし物の位置特定の先行研究がある [14]。先行研究では、視覚障害者が頻繁に失うものを追跡および位置特定するためのモバイルソリューション「FETCH」を提案している。FETCH は、ユーザーが既に所有しているデバイス（携帯電話やラップトップなど）を使用して、彼らの家の周りにあるオブジェクトの位置を特定する。オブジェクトには、Bluetooth 通信プロトコルを用いたタグを取り付ける。そのタグには音声入力できる仕組みがある。最初に、オブジェクトの名前を音声入力し、

サウンドファイルとして記録する。その後、ユーザーがオブジェクトを見つけたい時に、再度そのオブジェクト名を音声入力をする。その際に、サウンドファイルからオブジェクト名を検索し、Bluetooth 通信でオブジェクトの位置を特定する。

大衆の中の落とし物の効率的な追跡の先行研究がある [15]。この研究では、イベントの時空間的構造を定義し、失われたアイテムの効果的な報告と追跡のための時空間的な機能を提案している。ウェブベースのサービスを使用し、落とし物の場所を追跡している。提案は、時空間的なコンテキストを考慮に入れながら、落とし物と人物情報を一致させるために識別情報を使用している。

いずれの研究も早期検知については明言されていない。

## 3. 提案

本論文では落とし物の早期検知を目的としている。本提案では腰に装着した加速度センサーと落とし物に装着されている加速度センサーで地上からの高さを計測し、その差分が基準値を超えた場合に落とし物と判定する。本稿では前提として以下の 3 つを前提条件とする。

- (1) 例えば階段や傾斜のある地面ではなく、平坦な地面を想定している
- (2) 所有物は無意識下で落下するのではなく、所有物を手で持った上で意図的なタイミングで落下させている
- (3) 加速度センサからは 3 軸のデータではなく、地面からの高さを示す 1 軸のみを利用する

### 提案方式

提案では 2 つの加速度センサーを利用する。図 2 は歩行時に地上からの高さを計測する 2 つの加速度センサーである。加速度センサー A を落とし物に装着し、加速度センサー B を腰に装着する。加速度センサーから取得する値は地上からの高さである。腰に付ける理由は、体の重心が腰の近くにあり、センサーの値が安定しており、差分を求めるのに適しているからである [16]。

図 3 は加速度センサー A、B のデータの差分による落とし物の判断についてである。図 3 おいて、加速度センサー

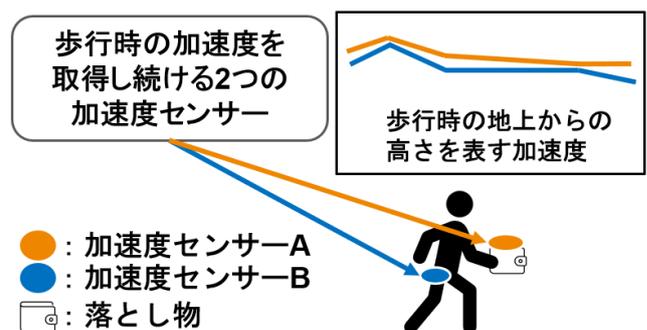


図 2 歩行時に地上からの高さを計測する 2 つの加速度センサー

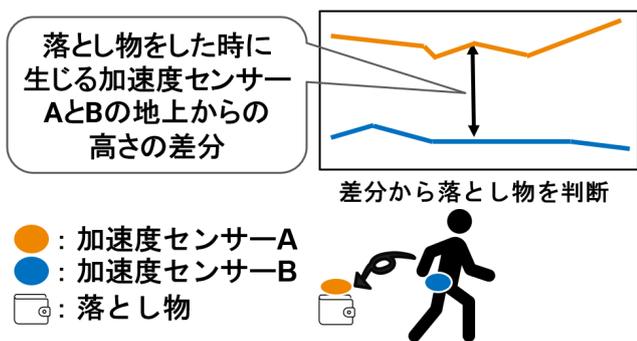


図 3 加速度センサー A, B のデータの差分による落とし物の判断

A が落下している。そのため、加速度センサー A と加速度センサー B の加速度に差が生まれる。

加速度センサー B が自身で計測した加速度を加速度センサー A に送信し、加速度センサー A が差分を算出する。この差分が基準値を超えた場合、落とし物と判断する。

### 基礎実験

基礎実験では落とし物の判断を行うための基準値を求める。以下に基準値を求めるための手順を示す。落とした時の腰の加速度センサーから落とし物の加速度センサーの差分を求める。これを 10 回算出する。この算出した 10 回の差分の平均値を基準値とした。

この実験では歩行時におけるセンサーデータを測る加速度センサー (以下、腰の加速度センサー) と所有物を落とした時におけるセンサーデータを測る加速度センサー (以下、落とし物の加速度センサー) の 2 台を使用する。この時加速度センサーから得られたデータの差分の算出を行う。図 4 は空箱に取り付けた落とし物の加速度センサーである。落とし物の加速度センサーは、財布に模した空箱に加速度センサー付き ESP32 を付着し、手で持った。図 5 はズボンのポケットに取り付けた腰の加速度センサーである。腰の加速度センサーはズボンのサイドポケットの位置に加速度センサー付き ESP32 を装着した。

本実験では地上からの高さを計測するため、腰の加速度センサーは Y 軸、落とし物の加速度センサーは Z 軸を使用する。

基礎実験ではまず、所有物を落下させた時における腰の加速度センサーの Y 軸と落とし物の加速度センサー Z 軸を取得した。図 6 は落とした時の腰の加速度センサーの Y 軸と落とし物の加速度センサーの Z 軸のデータである。これは 10 回計測している。所有物を落下させた時に落とし物の加速度センサーの Z 軸と腰の加速度センサーの Y 軸とで差が生じているため、この差から落とし物と判定することが可能である。

次に、具体的な基準値の算出を行う。10 個の差分の平均値を出す。この結果、差分の平均値は-0.8684 である。この平均値を基準値とする。

### ユースケース・シナリオ

本ユースケースシナリオでは、建物が多い街中を歩行している場合での落とし物に適用されることを想定している。ユースケースシナリオを図 7 に示す。

図 7 のユースケースでは所有者が財布を落としたとする。財布が落下した時、財布に装着されていたブザーが鳴り所有者に知らせる。落とした後、BLE の接続の有無で判断するスマートタグよりも短い時間で落とし物を通知するため、遺失を早期に防止出来る。

## 4. 実装

実装では ESP32 を IoT デバイスとして使用し、加速度センサーは LIS3DH を使用する。プログラミング言語の MicroPython を使用してソフトウェアを実行する。ESP32 同士の通信はソケット通信を用いる。落とし物の加速度センサーをサーバ、腰の加速度センサーをクライアントとする。ソフトウェア構成図を図 8 に示す。プログラムの詳細について以下で説明する。

### 4.1 クライアント側の処理

まず、クライアントは ST モードを起動する。起動後、サーバに接続する。次に、Y 軸の加速度センサーデータを取得する。そして、そのデータをサーバに送信する。

### 4.2 サーバ側の処理

まず、サーバは AP モードを起動する。起動後、クライアントと接続する。クライアントからのセンサーデータを受信する。次に Z 軸の加速度センサーデータを取得する。そして、サーバで取得した Z 軸、クライアントで取得した Y 軸の加速度のセンサーデータの差分を算出する。その差分が基準値以上ならばブザーを鳴らす。

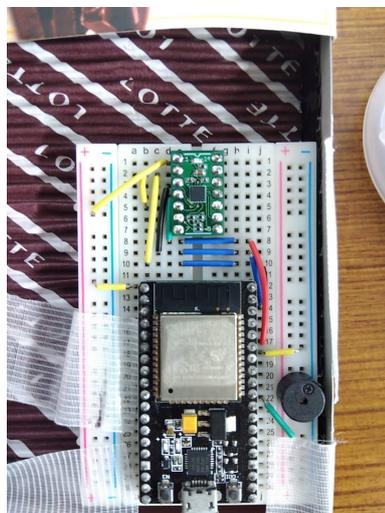


図 4 空箱に取り付けた落とし物の加速度センサー



図 5 ズボンのポケットに取り付けた腰の加速度センサー

## 5. 評価実験

評価では落とし物を検知した時に、所有物を落下させる実験者から落とし物までの距離を計測した。以降、落とし物を検知した時の実験者から落とし物までの距離を”検知距離”とする。そして本提案とスマートタグの検知距離を比較する。

加えて、所有物を落下をした際に本提案が落とし物と判断するのかの”検知率”も評価する。

### 実験環境

図 9 に実験方法を示す。落とし物を落下させる実験者は

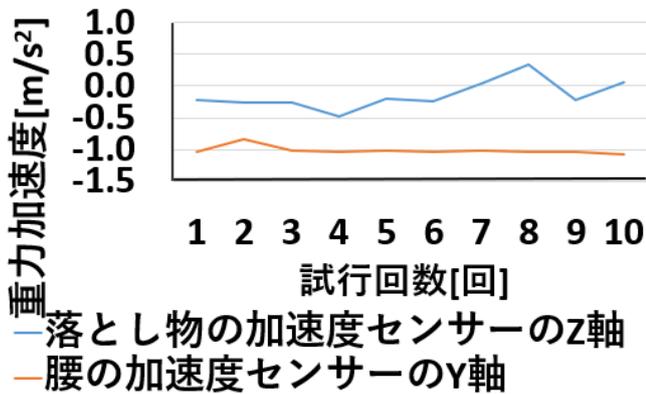


図 6 落とした時の腰の加速度センサーの Y 軸と落とし物の加速度センサーの Z 軸のデータ



図 7 ユースケースシナリオ

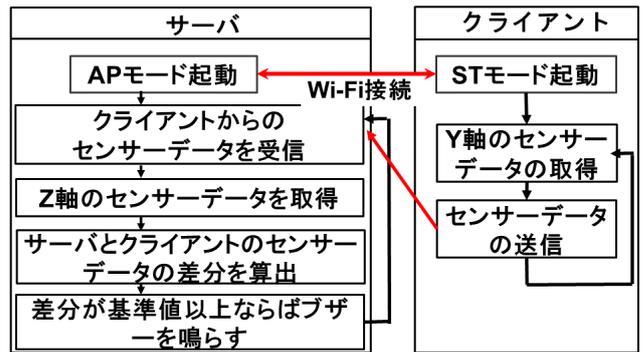


図 8 ソフトウェア構成図

表 1 本提案を用いて計測した 10 回分の検知距離

所有物を落とした地点 [m]	ブザーが鳴り実験者が止まった地点 [m]	検知距離 [m]
1.56	2.55	0.99
1.62	3.25	1.63
2.78	4.36	1.58
2.87	4.77	1.9
1.52	4.46	2.94
2.37	4.74	2.37
2.42	4.56	2.14
2.51	4.14	1.63
1.93	4.08	2.15
2.68	4.63	1.95

0m 地点から 10m 地点まで歩行する。落とし物は任意の場所で地面に落下させる。所有物が落下した時に落とし物と判断された場合、ブザーが鳴り実験者が落とし物に気がつき停止する。この時の”検知距離”を評価する。実験回数は 10 回である。

加えて、”検知距離”で行った実験方法で”検知率”を評価する。実験回数は 15 回である。

### 実験結果と分析

表 1 は本提案を用いて計測した 10 回分の検知距離である。所有物を落とした地点はスタート地点から落とし物の先端までとした。ブザーが鳴り実験者が止まった地点はスタート地点から実験者の踵までとした。表 1 より 10 回分



図 9 実験方法

表 2 本提案を用いて計測した 15 回分の検知率

取得回数 [回]	検知
1 回目	誤検知
2 回目	検知
3 回目	誤検知
4 回目	誤検知
5 回目	誤検知
6 回目	検知
7 回目	誤検知
8 回目	誤検知
9 回目	検知
10 回目	検知
11 回目	誤検知
12 回目	誤検知
13 回目	誤検知
14 回目	誤検知
15 回目	検知

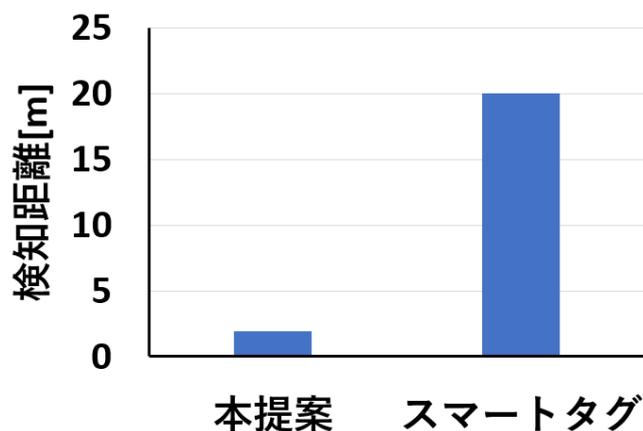


図 10 スマートタグと本提案の検知距離の比較

の検知距離の平均値は 1.928m となった。これを本提案を用いた場合の検知距離とする。

表 2 は本提案を用いて計測した 15 回分の検知率である。基礎実験で使用した基準値を使用し、所有物を落とした際に基準値を超えて検知しているかを評価した。表 2 より 15 回分の検知率は 33.3% となった。

図 10 は、スマートタグと本提案の検知距離の比較である。スマートタグによる落とし物の検知には 20m の距離が必要である\*3。従って、本提案とスマートタグとの差は 18.072m となり、所有者はスマートタグよりも速やかに落とし物を検知できるようになった。

## 6. 議論

実装では加速度センサーデータを Wi-Fi で送信した。Wi-Fi は加速度センサーデータを送れるが、伝送時に遅延が発生する [17]。それにより、2 つの加速度センサがデータを取得したタイミングがずれてしまう問題がある。その

\*3 <https://item.rakuten.co.jp/wa-rudoma-ketto/r150908-3n/>, (閲覧日: 2024/01/11)

ため、遅延分を差し引いて計算する必要がある。

本実験では本稿の著者のみが実験を行った。それにより、人によって歩くスピードや身長によって所有物が落ちる高さが異なるため、落とし物を判断するための基準値が変動する。そのため、複数人を対象とした実験を行い、適切に落とし物と判断されたかという検知率も評価に組み込むことで実用性が向上する。

本実験では落とし物と腰の加速度センサーの地上からの高さを示す軸の値のみで落とし物を判定した。しかしながら、落とし物と腰の加速度センサーが同じ向きに調整されているとは限らないという問題がある。そこで 3 軸の加速度の合成値を利用する。3 軸の加速度を合成すると絶対値での比較が可能であるためセンサーの向きを考慮する必要がなくなる。加えて、本実験では空箱を使用し実験を行った。この時所有物を落とした際に落とし物の加速度センサーの Z 軸が揺れるため値は必ずしも一定ではない。そのため、基準値に届かず検知率の低下に繋がる。従って、2 台の加速度センサーの向きを考慮しない 3 軸の加速度の合成値を使用することで検知率も向上する。

## 7. おわりに

課題は BLE による検知だと早期発見が出来ないことである。そのため、落とし物の落下時に腰と所有物に装着した加速度センサーが示す地上からの高さの差分が基準値を超えるか否かで落とし物の判断する手法を提案した。基礎実験では落下時における腰と所有物に装着した加速度センサーの差分を 10 回算出し、その平均値を基準値とした。評価では落とし物までの距離である検知距離を本提案とスマートタグとで比較した。実験では歩行時に実験者が所有物を落下させ、落とし物と検知された時の検知距離を 10 回測定し、平均値を本提案の検知距離とした。本提案における実験者から落とし物までの距離は 1.928m であった。これはスマートタグと比較して、18.072m 短くなり、より速やかに所有者に落とし物を知らせることが可能である。

## 参考文献

- [1] Feng, Z., Mo, L. and Li, M.: Analysis of low energy consumption wireless sensor with BLE, *2015 IEEE SENSORS*, IEEE, pp. 1-4 (2015).
- [2] Gomez, C., Oller, J. and Paradells, J.: Overview and evaluation of bluetooth low energy: An emerging low-power wireless technology, *sensors*, Vol. 12, No. 9, pp. 11734-11753 (2012).
- [3] Aza, A., Melendi, D., Garcia, R., Paneda, X. G., Pozueco, L. and Corcoba, V.: Bluetooth 5 performance analysis for inter-vehicular communications, *Wireless Networks*, Vol. 28, No. 1, pp. 137-159 (2022).
- [4] Mikhaylov, K., Plevritakis, N. and Tervonen, J.: Performance analysis and comparison of Bluetooth Low Energy with IEEE 802.15. 4 and SimpliciTI, *Journal of Sensor and Actuator Networks*, Vol. 2, No. 3, pp. 589-613 (2013).

- [5] Fürst, J., Chen, K., Kim, H.-S. and Bonnet, P.: Evaluating Bluetooth low energy for IoT, *2018 IEEE Workshop on Benchmarking Cyber-Physical Networks and Systems (CPSBench)*, IEEE, pp. 1–6 (2018).
- [6] Martin, P., Ho, B.-J., Grupen, N., Munoz, S. and Srivastava, M.: An ibeacon primer for indoor localization: demo abstract, *Proceedings of the 1st ACM Conference on Embedded Systems for Energy-Efficient Buildings*, pp. 190–191 (2014).
- [7] Ferro, E. and Potorti, F.: Bluetooth and Wi-Fi wireless protocols: a survey and a comparison, *IEEE Wireless Communications*, Vol. 12, No. 1, pp. 12–26 (2005).
- [8] Banerji, S. and Chowdhury, R. S.: On IEEE 802.11: wireless LAN technology, *arXiv preprint arXiv:1307.2661* (2013).
- [9] Radhika, K., Raksha, B., Sujatha, B., Pruthviraj, U. and Gangadharan, K.: IoT based Joystick controlled pi-bot using socket communication, *2018 IEEE Distributed Computing, VLSI, Electrical Circuits and Robotics (DISCOVER)*, IEEE, pp. 121–125 (2018).
- [10] An, J. H., Jung, K. H., Kim, S. Y., Mun, J. S. and Han, M. G.: Intelligent real-time control system through socket communication using deep learning-based de-hazing and object detection in an embedded board environment, *2021 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, IEEE, pp. 1494–1497 (2021).
- [11] Yang, S. and Li, Q.: Inertial sensor-based methods in walking speed estimation: A systematic review, *Sensors*, Vol. 12, No. 5, pp. 6102–6116 (2012).
- [12] Liang, H.: Reliability evaluation method of vehicle acceleration sensor based on vector control, *International journal of vehicle design*, Vol. 86, No. 1-4, pp. 1–17 (2021).
- [13] Guinard, D., Baecker, O. and Michahelles, F.: Supporting a mobile lost and found community, *Proceedings of the 10th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services*, pp. 407–410 (2008).
- [14] Kientz, J. A., Patel, S. N., Tyebkhan, A. Z., Gane, B., Wiley, J. and Abowd, G. D.: Where’s my stuff? Design and evaluation of a mobile system for locating lost items for the visually impaired, *Proceedings of the 8th international ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, pp. 103–110 (2006).
- [15] Nadeem, A., Rizwan, K., Syed, T. A., Alkhodre, A. and Mehmood, A.: Spatio-temporal modeling and application for efficient online reporting and tracking of lost items during Huge Crowd Gatherings, *International Journal of Computing and Digital Systems*, Vol. 9, No. 6, pp. 1155–1163 (2020).
- [16] Fujikawa, K.: The center of gravity in the parts of human body, *Okajimas folia anatomica Japonica*, Vol. 39, No. 3, pp. 117–125 (1963).
- [17] Wei, Y.-H., Leng, Q., Han, S., Mok, A. K., Zhang, W. and Tomizuka, M.: RT-WiFi: Real-time high-speed communication protocol for wireless cyber-physical control applications, *2013 IEEE 34th Real-Time Systems Symposium*, IEEE, pp. 140–149 (2013).