

センサ特性とその設置環境を考慮した センサ配置アルゴリズムに関する一検討

竹熊 宏観^{1,a)} 山崎 恭^{1,b)}

概要：高齢者の見守りサービスの実現には、プライバシーへの配慮が可能なセンサを使用することが必要である。また、センサを使用したサービスの実現には、サービスの要件を満足するセンサの配置（以下、センサ配置）を決定する必要がある。しかしながら、センサ配置を決定するための従来手法は、十分な台数のセンサを用意しなければ適用することができないものが多い。そこで、本論文では、使用可能なセンサの台数に制約がある場合において、センサを設置する前に入手可能なセンサの特性とその設置環境情報を使用し、これに図形詰め込み手法を適用することにより、サービスの要件を満足することが可能なセンサの初期配置を決定するアルゴリズムを提案する。

キーワード：センサ配置, 図形詰め込み, IoT, センサ

A Study on Sensor Arrangement Algorithm Considering Sensor Characteristics and its Installation Environment

Abstract: It is necessary to use sensors that can consider a user's privacy in order to realize monitoring services for the elderly. In order to realize a service using sensors, it is essential to determine the sensor arrangement that satisfies the service requirements. However, conventional methods for deciding the sensor arrangement cannot always be applied unless a sufficient number of sensors are prepared. Therefore, in this paper, we propose an algorithm to determine the initial arrangement of sensors that satisfies the service requirements by applying the figure packing algorithm using the sensor characteristics and its installation environment information which are available before installing the sensor.

Keywords: Sensor Arrangement, Figure Packing, IoT, Sensor

1. はじめに

近年、インターネットの普及やセンサの性能向上、廉価化に伴い、パソコンやスマートデバイスなどに加え、自動車、家電、施設等、様々な「モノ」がセンサと無線通信を介してインターネットにつながるIoTが注目されており、インターネットに接続可能な機器（以下、IoTデバイス）が増加している[1][2]。中でも、防犯カメラやドライブレコーダ、スマートデバイスに搭載されたカメラ等により取得した画像を使用したサービスは数多く存在し、今後もサービ

スの多様化が想定される。

しかしながら、画像は人が被写体を認識することが可能であるため、高齢者施設における見守りやホテルにおける宿泊者数の計数、トイレにおける使用者の状態確認等、人物を対象としたサービスの場合、プライバシーへの配慮が困難となることが懸念される[5]。そのため、プライバシーへの配慮が必要なサービスでは、人による認識が困難なデータの取得が可能なセンサを使用することが必要であると考えられる。

一方、センサを使用したサービスを実現するためには、サービスの実現に必要な要件（以下、サービス要件）を満足するセンサ配置を決定することが不可欠である。先行研究[6]では、実際にセンシングを行う環境（以下、実環境）に十分な台数のセンサを設置してセンシングを行い、その

¹ 北九州市立大学大学院国際環境工学研究科, 〒808-0135 福岡県北九州市若松区ひびきの1-1, Graduate School of Environmental Engineering, The University of Kitakyushu 1-1 Hibikino, Wakamatsu-ku, Kitakyushu, Fukuoka, 808-0135, Japan

^{a)} z8mca017@eng.kitakyu-u.ac.jp

^{b)} y-yamazaki@kitakyu-u.ac.jp

後、取得したデータに基づき不要なセンサを取り除くことにより最適なセンサ配置を決定する手法が提案されている。しかしながら、当該手法は、十分な台数のセンサを用意することが不可欠であるため、使用可能なセンサの台数に制約がある場合、センサ配置を決定する手法として適用することは困難である。そこで、使用可能なセンサの台数に制約がある場合でも、サービス要件を満足する最適なセンサ配置を決定する手法が必要となる。

以上の背景を踏まえて、本論文では、使用可能なセンサの台数に制約がある場合において、センサを設置する前に入手可能なセンサの特性（以下、センサ特性）とその設置環境情報を使用することにより、サービス要件を満足することの可能なセンサの初期配置を決定するアルゴリズムを提案する。

2. カメラとセンサを使用した見守りサービスの実現

現在、日本における一人暮らしの高齢者の数が増加しており、IoT デバイスを用いたバイタルデータの取得やベッドからの転落の検知など、医療・介護・健康分野における情報通信技術の利活用や、他者と関わる機会の増加を目的とした生活の支援や社会参加の場の提供が国により推進されている [3]。そこで本論文では、自宅や高齢者施設などの室内に設置された複数の IoT デバイスにより、高齢者に身体的な異常が生じているか否かを検出することを目的とした見守りサービスを対象とする。なお、本論文では便宜上、IoT デバイ스에搭載されたセンサのうち、取得したデータから人が見守り対象者を特定することが容易なものをカメラ、そうでないものをセンサと定義する。

2.1 カメラを使用したサービスの課題

カメラにより取得した画像（以下、カメラ画像）を使用した見守りサービスを実現するにあたり、以下の課題が挙げられる [4][5]。

- 個人情報の削除

見守り対象者の顔など、特定の個人を識別可能なものは「個人情報」に該当する。カメラ画像を使用する場合、見守り対象者の個人情報が含まれる可能性があるため、必要に応じて個人情報を削除する必要がある。

- プライバシへの配慮

カメラ画像は、人が見守り対象者を特定することが容易であるため、個人のプライバシーが侵害される恐れがある。そのため、トイレや浴室など、プライバシーへの配慮が必要な場所では、カメラ画像を使用することは困難である。

2.2 センサを使用したサービスの課題

センサにより取得したデータ（以下、センシングデータ）を使用した見守りサービスは、センシングデータ自体から人が見守り対象者を直接特定することが困難であるため、個人情報やプライバシーへの配慮が不可欠な場所での利用に適している。一方、当該サービスを実現するためには、サービス要件を満足するセンサ配置を決定する必要がある。

先行研究 [6] では、人物追跡を対象としたセンサ配置手法として、実環境に十分な台数のセンサを配置して人物を対象としたセンシングを行い、その後、取得したセンシングデータに基づき冗長なセンサを取り除くことにより最適なセンサ配置を決定する手法が提案されている。当該手法は、実環境における人物を対象としたセンシングデータを使用するため、周辺的环境やセンシングの対象によるセンシングデータへの影響を考慮したセンサ配置を決定することが可能である。しかしながら、使用するセンサが高価である場合や一般家庭でセンシング環境を構築する場合など、十分な台数のセンサを用意することが困難な場合、当該手法をセンサ配置の決定手法として適用することは難しい。

3. センサ配置アルゴリズム

本論文では、使用可能なセンサの台数に制約がある場合において、センサを設置する前に入手可能なセンサ特性とその設置環境情報を使用し、サービス要件を満足することの可能なセンサの初期配置を決定するアルゴリズムを提案する。図 1 に提案するセンサ配置アルゴリズムの概要を示す。

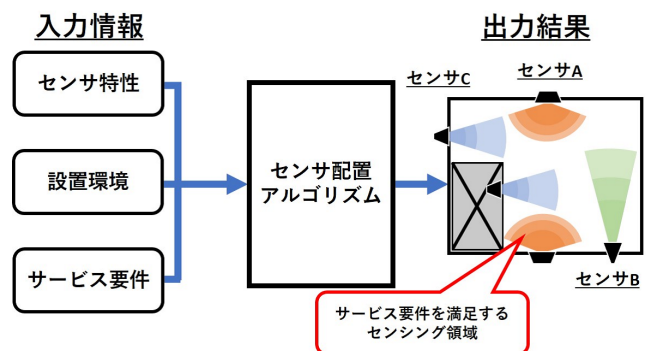


図 1 センサ配置アルゴリズムの概要

本論文では、使用可能な全てのセンサを使用して与えられたサービス要件を満足するセンサ配置を決定することを踏まえ、ある領域に重複しないよう図形を効率的に配置することを目的とする図形詰め込み手法の適用を検討した。ここで、図形詰め込み手法をセンサ配置の問題に適用するためには、図形を詰め込む領域とその領域に詰め込む図形が必要となる。そこで、提案手法では、図形を詰め込む領域をセンサの設置領域（図 2）とし、その領域に詰め込む図形を長方形で近似したセンシング領域（図 3）とする。

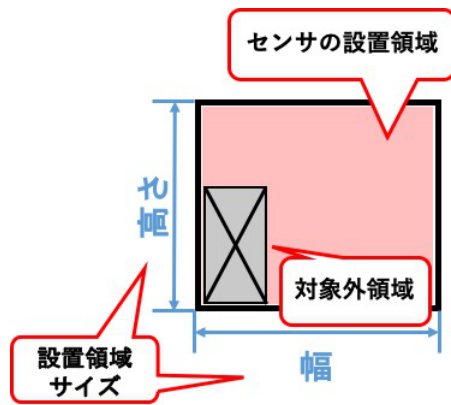


図2 センサの設置領域

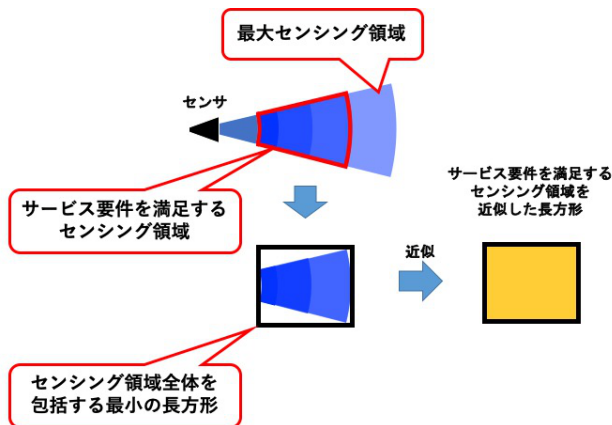


図3 サービス要件を満足するセンシング領域の近似

ここで、サービス要件を満足するセンサ配置を決定するため、長方形で近似したセンシング領域はサービス要件を満足する必要がある。以下、長方形によるサービス要件を満足するセンシング領域の近似を行う手順について述べる。はじめに、センシング領域がサービス要件を満足するか否かを判別するため、センサの推定誤差 [10] を求める。センサの推定誤差は、静止物体に対するセンシングデータを距離などに変換する際に生じる可能性がある真値との差である。次に、使用するセンサの最大センシング領域内で、センサの推定誤差がサービス要件を満足する範囲をサービス要件を満足するセンシング領域とする。その後、サービス要件を満足するセンシング領域全体を包括することが可能な長方形を決定する。決定した長方形の中で最小の高さと幅のものがサービス要件を満足するセンシング領域を近似した長方形となる。

3.1 センサ配置を決定する際に使用する情報

図1のアルゴリズムに基づきセンサ配置を決定する際に使用する情報を以下のように定義する。

3.1.1 センサ特性

- 最大センシング領域
センサの仕様から明らかなセンシング可能な最大領域。
- 推定誤差
取得したセンシングデータを距離などに変換した際に生じる真値との差を推定した値。
- センサ間隔
同一種類のセンサを使用する場合、相互干渉の影響が一定以下となるセンサ間の距離。

3.1.2 設置環境

- 設置領域サイズ
センサを設置する領域の幅と高さ（図2参照）。
- 対象外領域
什器や机などが置かれている領域（図2参照）。

3.1.3 サービス要件

- センシング精度
サービスを実現するために必要なセンシングデータの精度。
- センサ台数
使用するセンサの台数。

3.2 図形詰め込み手法

本論文では、図形詰め込み手法の一つである Bottom-Left Algorithm（以下、BL法）をセンサ配置に適用した。以下、図4にBL法を適用した図形詰め込みの例を示し、BL法について述べる [7][8]。

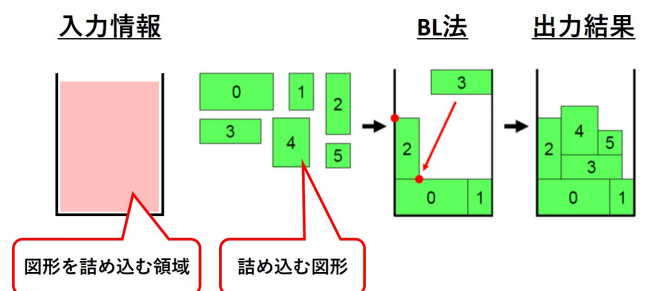


図4 BL法を適用した図形詰め込みの例 [9]

BL法は、はじめに詰め込む図形に番号を付け、その順番に従い図形を詰め込む領域のできる限り下へ、同じ高さであればできる限り左に詰め込むことを繰り返すことにより図形の配置を決定する。当該手法は、詰め込み手続きが単純であり、効率的に図形の配置を決定することが可能である。

4. シミュレーション実験

本論文では、提案手法の信頼性を評価するため、見守り

サービスの一例として、赤外線距離センサを使用した室内における歩行軌跡の推定を取り上げ、3.1の情報に基づき当該サービスのサービス要件を満足するセンサ配置を決定した。図5に決定したセンサ配置の一例（以下、センサ配置1）を示す。また、センサ配置1を決定する際に使用した情報を表1、赤外線距離センサの計測距離とその推定誤差の関係[10]を図6に示す。

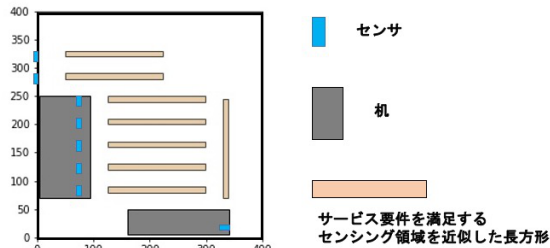


図5 提案手法に基づき決定したセンサ配置（センサ配置1）

表1 センサ配置1を決定するために使用した情報

センサ特性	
使用センサ	赤外線距離センサ GP2Y0A710K
最大センシング領域	50～500 [cm], 射角 0 [°]
推定誤差	図6を参照
センサ間隔	40 [cm]
設置環境	
設置領域サイズ	横 400 [cm], 高さ 400 [cm]
対象外領域	机 × 2 (図5の灰色の矩形)
サービス要件	
センシング精度	30 [cm]
センサ台数	8 [台]

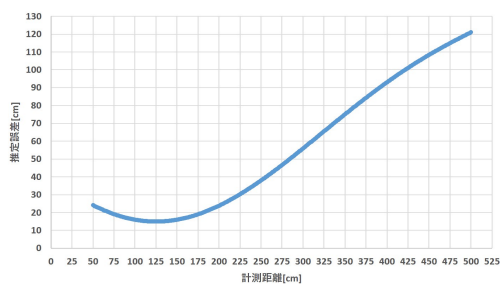


図6 赤外線距離センサの計測距離とセンシングデータの推定誤差

実験では、推定誤差に基づき近似した長方形を使用することにより、サービス要件をどの程度満足するセンサ配置の実現が可能であるかを評価した。そこで、提案手法により決定したセンサ配置1と、センサ間隔を変えたセンサ配置1とは別のセンサ配置において、センシングデータを距離に変換した値とその推定誤差（図6）に基づきセンシングデータの精度を比較した。また、実験では、提案手法に

よるセンサ配置の優位性を他の手法と比較することにより、どの程度信頼性の高いサービスの実現が可能であるかを評価した。そこで、提案手法により決定したセンサ配置1と、センサ配置1に別のセンサを追加したセンサ配置1とは異なるセンサ配置において、歩行者の歩行軌跡の推定精度を比較した。

4.1 センシングデータの精度推定

提案手法（センサ配置1）と比較するためのセンサ配置を、それぞれセンサ配置2（図7）とセンサ配置3（図8）とした。センサ配置2とセンサ配置3は、センサ配置1と同じセンサ台数であるがそれぞれ隣接するセンサ間の間隔が異なり、前者は50 [cm]、後者は20 [cm] となっている。

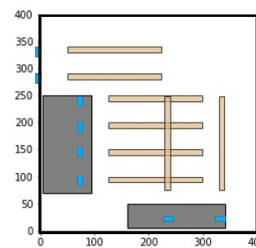


図7 センサ配置2

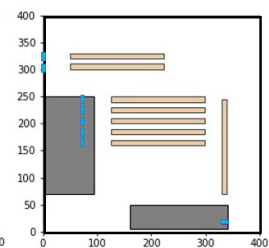


図8 センサ配置3

4.1.1 実験の諸元

センシングデータの精度推定に関する実験の諸元を表2に示す。

表2 センシングデータの精度推定実験の諸元

サービス	室内における歩行軌跡の推定
対象	人物
対象の移動速度	約 100 [cm/sec]
データの取得間隔	3 [回/sec]
人物モデル	半径 25 [cm]
使用機器	Raspberry Pi Zero W
センサの設置の高さ	106 [cm]
歩行ルート	歩行ルート A (図9)
比較するセンサ配置	センサ配置 2, 3

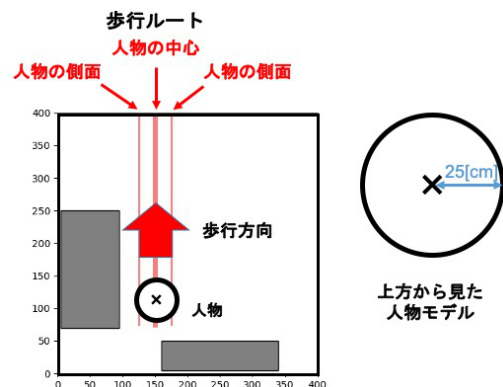


図9 歩行ルート A

図 6 に基づきセンシングデータに対する推定誤差を決定し、センシングデータの推定誤差内に真値が含まれるか否かによりセンシングデータの精度に関する評価を行った。図 10 にセンシングデータの精度に関する評価の概要を示す。

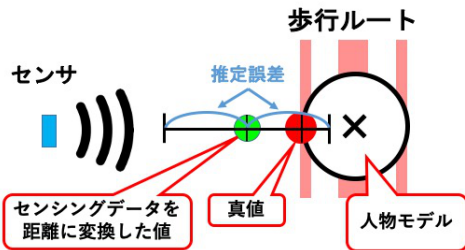


図 10 センシングデータの精度に関する評価の概要

4.1.2 実験結果

表 3 推定誤差内に真値を含むデータの割合 [%]

	センサ配置 1	センサ配置 2	センサ配置 3
1 回目	55.6	37.5	36.4
2 回目	71.4	42.9	21.4

表 3 より、センシングデータの推定誤差内に真値が含まれるデータの割合は、センサ配置 1 において最も高い値となった。以上の結果から、提案手法に基づくセンサ配置 1 がサービス要件を最も満足するセンサ配置であると考えられる。

4.2 歩行軌跡の推定

提案手法（センサ配置 1）と比較するためのセンサ配置をセンサ配置 4（図 11）とした。センサ配置 4 は、センサ配置 1 に 4 [台] の赤外線距離センサを追加した合計 12 [台] のセンサから構成され、隣接するセンサ間の間隔は、センサ配置 1 と同じく 40 [cm] とした。

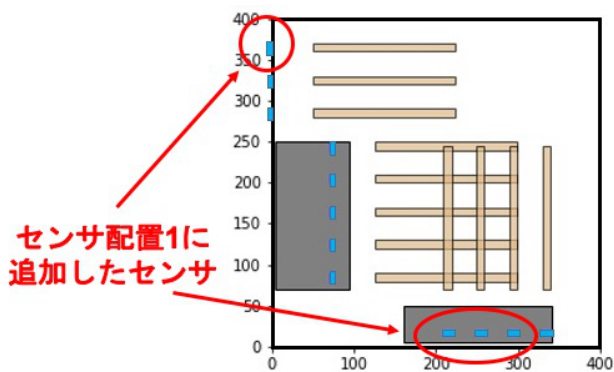


図 11 センサ配置 4

4.2.1 実験の諸元

歩行軌跡の推定に関する実験の諸元を表 4 に示す。

表 4 歩行軌跡の推定実験の諸元	
サービス	室内における歩行軌跡の推定
対象	人物
対象の移動速度	約 100 [cm/sec]
データの取得間隔	3 [回/sec]
人物モデル	半径 25 [cm]
使用機器	Raspberry Pi Zero W
センサの設置の高さ	106 [cm]
歩行ルート	歩行ルート B (図 12)
比較するセンサ配置	センサ配置 4

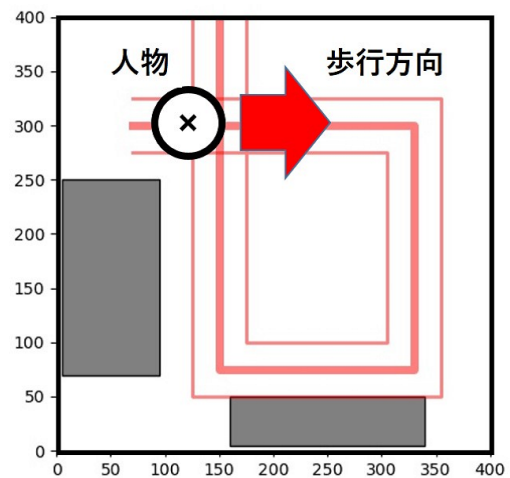


図 12 歩行ルート B

センシングデータに人物モデルの半径である 25 [cm] を加え、その後、カルマンフィルタ [11] による平滑化を行って人物の中心位置を推定し、推定位置が歩行ルートの範囲内に含まれるか否かにより歩行軌跡の推定精度に関する評価を行った。図 13 に歩行軌跡の推定精度に関する評価の概要を示す。

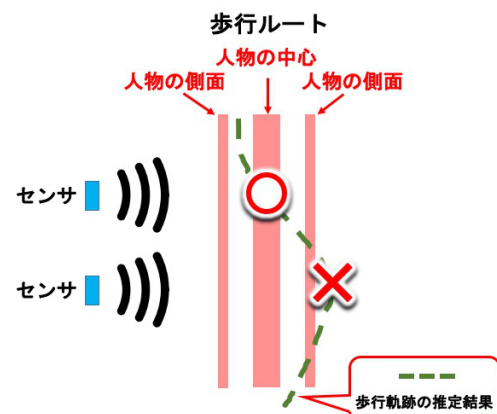


図 13 歩行軌跡の推定精度に関する評価の概要

4.2.2 実験結果

センサ配置 1 とセンサ配置 4 における歩行軌跡の推定結果をそれぞれ図 14 と図 15 に示す。

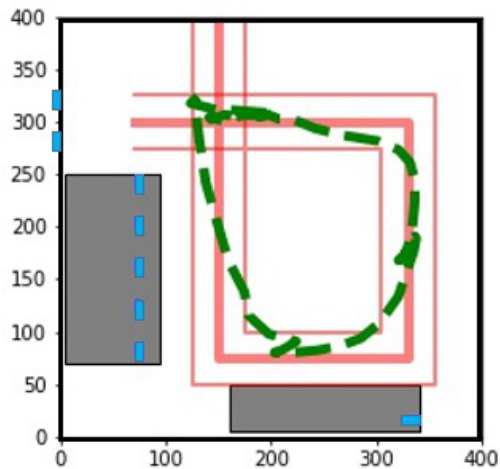


図 14 センサ配置 1 における歩行軌跡の推定結果

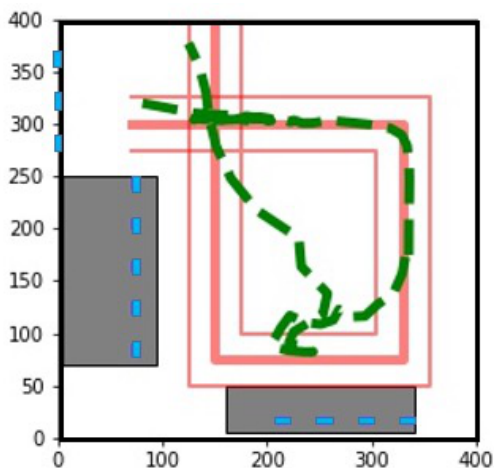


図 15 センサ配置 4 における歩行軌跡の推定結果

表 5 歩行軌跡の推定精度 [%]

	センサ配置 1	センサ配置 4
1 回目	78.7	71.6
2 回目	83.6	77.8
3 回目	92.6	71.2

表 5 より、センサ配置 1 における歩行軌跡の推定精度は、センサ配置 4 における歩行軌跡の推定精度より高いことが確認された。以上の結果から、提案手法により効率的なセンサ配置が実現できたと考えられる。

5. まとめ

本論文では、センサを使用したサービスを実現するため、センサ特性とその設置環境によりサービス要件を満足することの可能なセンサ配置を決定するアルゴリズムを提案し、歩行軌跡の推定精度からその有効性を評価した。今後の課題として、提案手法の歩行軌跡推定以外のサービスにおける評価や、異種センサを使用する場合への適用などが挙げられる。

参考文献

- [1] 総務省, “平成 30 年度版 情報通信白書, 第 1 章, 第 1 節, 世界と日本の ICT 市場の動向,” 総務省, 2018.
- [2] 総務省, “平成 29 年度版 情報通信白書, 第 3 章, 第 3 節, IoT 化する情報通信産業,” 総務省, 2017.
- [3] 内閣府, “令和元年度版 高齢社会白書,” 内閣府, 2019.
- [4] 青木義満, “視覚センサによる見守り技術について,” 通信ソサエティマガジン, No.41, pp.30-38, 2017.
- [5] IoT 推進コンソーシアム, “カメラ画像利活用ガイドブック,” 経済産業省, 総務省, 2018.
- [6] 渡邊裕太, 倉爪亮, ビヨンスク, 辻徳生, 諸岡健一, “多様なセンサを搭載した小型複合センサ端末の開発と人物追跡のための最適化計画,” ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 1A1-H05, 2015.
- [7] 今堀慎治, 梅谷俊治, “切出し・詰込み問題とその応用-(2) 長方形詰込み問題-,” オペレーションズ・リサーチ, Vol.20, pp.335-340, 2005.
- [8] B.S. Baker, E. G. Coffman, Jr., and R.L. Rivest, “Orthogonal Packings in Two Dimensions,” SIAM Journal on Computing, 9, pp.846-855, 1980.
- [9] 野澤 貴博, “詰め込み問題における近似アルゴリズムの研究,” 法政大学大学院紀要. デザイン工学研究科編, Vol.3, 2014.
- [10] 竹熊宏観, 山崎恭, “センサ特性を考慮した複数センサによるセンシング領域およびセンシング精度推定アルゴリズムに関する一検討,” 電子情報通信学会総合大会, ISS-A-003, 2019.
- [11] 西山清, “6 章 カルマンフィルタ,” 電子情報通信学会, 入手先 (http://www.ieice-hbkb.org/files/01/01gun_05hen_06m.pdf) (最終アクセス日: 2020 年 1 月 27 日) .