

# 胴体揺動を考慮した歩行の粒子フィルタ手法

村上良太<sup>1,a)</sup> 李根浩<sup>2</sup>

受付日 2024 年 2 月 7 日, 採録日 2024 年 2 月 7 日

**概要:** 日本は現在も多くの支援機器が開発されている。本研究では歩行支援機に対する歩行認識手法に着目する。具体的には測域センサを用いて両脚や胴体の中心点を測定し、歩行の方向を認識する手法である。しかしながらそれらには歩行という高度な動作を認識するため、認識の精度の面にやや不安点がある。故に本研究ではそれらの不安点を解決するため、粒子フィルタ手法を用いた歩行のシステムモデルの開発を行った。具体的には、胴体の中心点と両足の中心点をリンクモデル化しそれぞれの位置の時間ごとの予測をシミュレーションソフトを用いて行った。これにより、将来的にはより精密な歩行支援を行うことが出来ると期待される。

**キーワード:** 医療・福祉支援, シミュレーション技術, アニメーション

## Particle filter method for gait with torso sway

MURAKAMI RYOTA<sup>1,a)</sup> GEUNHO LEE<sup>2</sup>

Received: February 7, 2024, Accepted: February 7, 2024

**Abstract:** Japan is still developing many assistive devices. This study focuses on a gait recognition method for walking assistive devices. Specifically, the method uses a range-finding sensor to measure the center points of the legs and torso, and recognizes the direction of walking. However, these methods have some concerns about the accuracy of recognition because they recognize advanced movements such as walking. Therefore, in this study, we developed a system model of walking using the particle filter method to resolve these concerns. Specifically, the center point of the torso and the center points of the legs were modeled as links, and the positions of each were predicted at different times using simulation software. This model is expected to enable more precise gait support in the future.

**Keywords:** Medical and welfare support, simulation technology, animation

### 1. 緒言

日本は現在、少子高齢化社会が進み続けており、2023 年の高齢者人口は総務省によると 29.1% という過去最高の割合を記録している。これにより介護者はより不足するとされており、社会的に介護者不足は問題視されている。高齢者の増加に伴い多くの支援機器が開発されていく中で、日常動作の一つであり重要な意味を持つ歩行も支援方法が研究されている。特に本研究では歩行支援機と歩行認識手法に着目する。歩行支援機に歩行認識手法を搭載することでより精密な歩行支援を実現しようとする試みが現在積極的に行われているためである。歩行支援に伴う歩行認識手法には

様々な種類がある。例えばカメラや装着型センサを用いた認識手法などである。しかしながらその多くにトイレ時などの使用場所におけるプライバシーの面での問題や支援対象者一人での装着の困難さなどの課題が挙げられている。それらの課題に対し、考慮を行い解決に取り組んだ歩行認識手法が存在する[1]。具体的には測域センサを用いて両足の中心点を測定し、その位置関係により前進、後進など歩行の方向を認識する二次元的な認識手法である。しかしながらそれらには歩行中の両脚のみを測定しているため、実際の歩行中の胴体の左右揺動が考慮されていないという点と歩行動作を認識するため、歩行認識の精度の面にやや不安点があるという二つの課題が挙げられる。故に本研究では

<sup>1</sup> 宮崎大学  
University of Miyazaki

<sup>2</sup> 宮崎大学  
University of Miyazaki

それらの不安点を解決するため、3つのセンサを用いて歩行動作を認識する手法の開発を行い、それに組み込む粒子フィルタ手法の歩行動作予測モデルを提案する。具体的には、まず、三つの測域センサにて胴体と両足の中心点を取得し粒子フィルタ手法におけるシステムモデルの実現のためのデータを取得した。またシステムモデルの歩行動作の再現性を確認するためにシミュレーションソフトを用いて胴体の中心点と両足の中心点をリンクモデル化しそれぞれの位置の時間ごとの予測を行った。シミュレーション実験にて胴体と両足の三点の予測を行う事が出来た。

以下より本研究で開発を行っている粒子フィルタ手法のシステムモデルと認識手法について述べる。

## 2. 歩行動作の認識手法

### 2.1 実験環境について

まず本研究にてシステムモデルを形成するにあたって認識を行った実験環境について示す。本研究では3つの測域センサを用いて、歩行の計測実験を行った。この時胴体部分の計測を行う測域センサの高さは対象者の骨盤位置となるように調節を行った後に計測を行った。

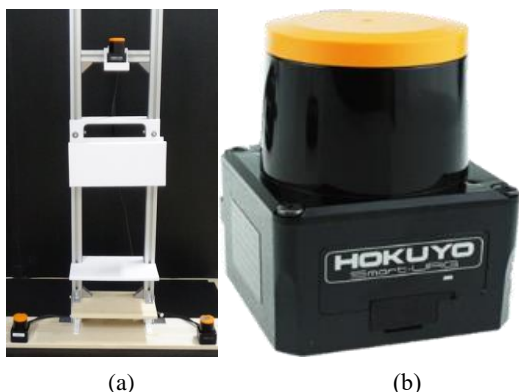


図 1 実験環境 (左) と測域センサ (右)

Figure 2 Experiment Environment (left) and Laser Rangefinder (right)

また、センサの中心点をそれぞれ  $s1(x, y, z)$ ,  $s2(x, y, z)$ ,  $s3(x, y, z)$  とし、範囲は両脚を計測する  $s2, s3$  のセンサを両端とし計測を行った。さらに両脚の脛の中心点  $pl(x, y, z)$ ,  $pr(x, y, z)$  を骨盤位置の中心点を  $pb(x, y, z)$  とした時、本研究の実験環境と対象者との関係は次の図のように表すことが出来る。図 3 において緑色の×印は骨盤位置の中心点  $pb$  を示しておりそれは骨盤位置の点群データより楕円モデルを用いて算出されるものである。また、両脚に関してはシリンダモデルを用いて中心点の計算が行われており、それぞれ赤い×が左脚の脛の中心点  $pl$  であり青色の×が右脚の脛の中心点  $pr$  を示している。

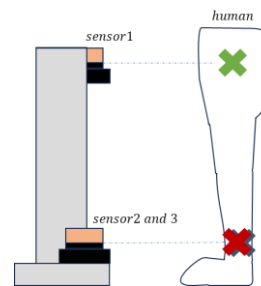


図 3 測域センサと対象者の位置関係

Figure 4 Positional relationship between the geodetic sensor and the subject

次に実際に取得した胴体と両足のデータについて示す。以下のグラフは横軸を上図のセンサの横軸  $x$ 、縦軸を上図のセンサからの縦軸  $y$  とし、センサからの距離で 2.1m から 1m まで近づくように前進移動を行ったデータである。グラフについて右脛の中心点  $pr$  の軌跡は青、左脛の中心点  $pl$  の軌跡は赤、骨盤位置の中心点  $pb$  の軌跡は緑、 $pl$  と  $pr$  の座標より求めることが出来る両足の中心点の軌跡は紫で示している。

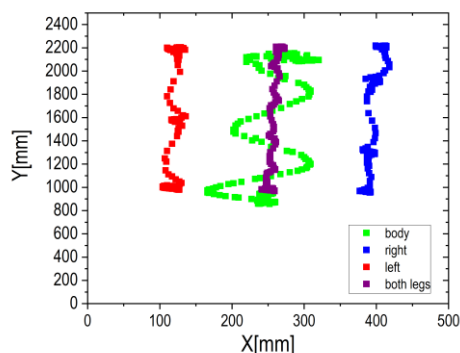


図 1 測域センサにて取得した各中心点のデータ

Figure 2 Data of each center point acquired by a geodetic sensor

このようにし歩行中の胴体と両足の位置データを取得し関係を求めた。グラフを見ても分かるように歩行中の胴体と両脚の中心位置を比較すると胴体の中心位置は  $x$  軸方向に揺動している事が分かる。これは歩行支援において胴体計測の必要性について必要であるという可能性を示している。ただし上記のグラフにおいてあくまでもこれは歩行の一例であり示したグラフでの歩行以外にも様々な歩行の様式があることは考慮しておかなければならない事は前提として研究を行っている。

### 3. 歩行のシステムモデル

#### 3.1 システムモデルについて

歩行の測定データより歩行中の胴体と両脚のシステムモデルを作成した。本研究では粒子フィルタ手法にこのシステムモデルを使用しシミュレーションを行う。まず本研究にて作成した歩行中の胴体と両脚のそれぞれの中心位置のシステムモデルについて以下に数式を示す。まず骨盤位置を測定しているセンサがある位置をBody plane, 両脚を測定しているセンサがある位置をLegs planeとする。この時それぞれの各中心点において予測のシステムモデルは以下の(2),(3),(4)で示される。この時 $legy_{rbf}$ は胴体と右足の中心点のy成分の差を表している。また、今回両足のx成分に関しては0として扱う。x成分を調節することで内また歩行や分回し歩行などにも対応が可能になる。zに関しては0としているのはセンサの位置は固定されているため初期値から変わることがないからである。またその他パラメータについても説明する。 $A_b$ は胴体の振幅を表しており $\omega_b$ は胴体の角速度、 $t$ は時間、 $\varphi_b$ は胴体の位相を表しておりその値は歩き始めの足によって変わる。 $\theta_r$ は右脚の角度を表しており左足も同様である。

$$\begin{cases} P_1 P_{s,t|t} = [p_{b,t|t}] & \text{(Body plane)} \\ P_2 P_{s,t|t} = [p_{r,t|t}] & \text{(Legs plane)} \end{cases} \quad (1)$$

それぞれの点は以下のように表されている。

$$p_{b,t|t} = \begin{bmatrix} x_{b,t|t} \\ y_{b,t|t} \\ z_{b,t|t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{b,t|t-1} \\ y_{b,t|t-1} \\ z_{b,t|t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_b \cos(\omega_b t + \varphi_b) \\ d_b(t) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$p_{l,t|t} = \begin{bmatrix} x_{l,t|t} \\ y_{l,t|t} \\ z_{l,t|t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{b,t|t} \\ y_{b,t|t} \\ z_{b,t|t} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ legy_{rbf} * \sin(\theta_r(t_r)) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$p_{l,t|t} = \begin{bmatrix} x_{l,t|t} \\ y_{l,t|t} \\ z_{l,t|t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{b,t|t} \\ y_{b,t|t} \\ z_{b,t|t} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ legy_{lbf} * \sin(\theta_l(t_l)) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

これらについて、胴体はcos波の式で表されており、両脚はsin波の式で表される。

#### 3.2 シミュレーション結果について

前節にてシステムモデルを示した。これについて実際にシミュレーションソフトにてシミュレーションを行う。図4はそのシミュレーションの様子を表したものである。

右に示している図4に示すようにこのシステムモデルは、前進動作において予測を行う事が出来ることを確認した。図4の説明を行うと、中央上の緑の丸は胴体を表しており下の青色の丸と赤色の丸はそれぞれ右脚と左脚を示している。左端上部の図は使用者についてシンプルな線となるようにモデル化しており、下部に関してはそれをより人に近くなるようにモデル化したものである。この時取得できる

点情報は、胴体と両脚の3点であるので上半身部分やひざの動き等は任意でこちらから与え、動きを再現している。

また、粒子フィルタ手法による予測については中央の図ピントの点群として示しており、赤線はセンサを模した四角形から予測結果の1点に対し伸びている線である。右端の3つの図に関しては上から胴体の中心点のx成分の変位を横軸を時間として表しており赤線がシステムモデルの変位、青線が粒子フィルタ手法による予測結果を反映した変位となっている。

粒子フィルタ手法による予測の正確性については右端の波形について赤色の線と青色の線がほぼ同じ動きをしていれば予測が出来ていると言える。これをふまえて見ると確かに赤線と青線はほとんど同じ動きをしているため、この粒子フィルタ手法は予測が出来ていると言える。よって本研究にて提案したシステムモデルは歩行中の胴体と両脚について予測が可能である可能性が示された。

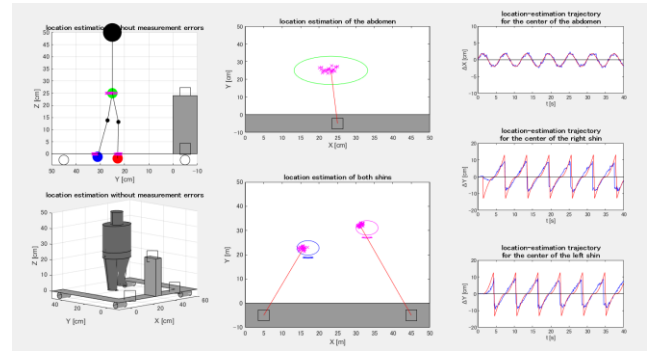


図3 Word テンプレートファイルの構成

Figure 4 The configuration of template file.

### 4. 結言

本研究では歩行支援機に搭載できる歩行認識手法について胴体と両脚の中心点を計測し、その位置関係をシステムモデルとしそのシミュレーションを行った。これによりシステムモデルの有効性が確認された。今後実際に人によって異なる歩行形態に対応が可能であるデータを示し、またさらにこのシステムモデルを粒子フィルタ手法で実現させ、それを歩行判別モデルに組み込むことにより歩行の認識向上を目指す。

#### (1) 参考文献

[1] T. Ohnuma, G. Lee, and N.-Y. Chong, "Development of JARoW-II active robotic walker reflecting pelvic movements while walking", Journal of Intelligent Service Robotics, vol.10, no.2, pp.95-107, 2017