

## 歩行支援ロボットにより疑似障害者移動の方向意図の同定

Identification of movement directional intention  
for a walking support robot oriented to the people with walking disabled

○ 王義娜 (高知工科大) 王碩玉 (高知工科大)

Yina WANG, Kochi University of Technology  
Shuoyu WANG, Kochi University of Technology

**Abstract:** A walking support robot (WSR) has been developed in authors' lab to assist movement for people with walking disabled. It is necessary for the WSR to know which direction the use is intending to go. In previous study, a method has been developed to recognize the directional intention of the user and the effectiveness of the proposed method had been verified by the healthy subjects. In this paper, the developed directional intention method was oriented to a class people with walking disabled. Firstly, the relationship between the directional intention and forearm pressure was extracted collected by experiments. Then a fuzzy reasoning algorithm is proposed to calculate the directional intention. Finally, The effectiveness of the proposed method will be verified by experiments oriented to this class people.

**Key Words:** Waking Support Robot, Directional Intention Identification, Fuzzy reasoning, People with walking disabled

## 1. 緒言

立位姿勢保持筋力の不足な下肢障害者の寝たきりにならないように、下半身運動器の残存能力をなるべく生かす自立歩行支援ロボット (Fig.1) を開発している<sup>(1)</sup>。狭い環境でもスムーズに歩行支援を行うには、小型メカナムホイールを底角にそれぞれ一個取り付けることで、全方向移動機能を実現している。また、要支援者の方向意図を認識するためには、アームレストの裏側に四つの荷重センサー設けられ、荷重センサーで計測する力学情報は要支援者の方向意図に利用できる。

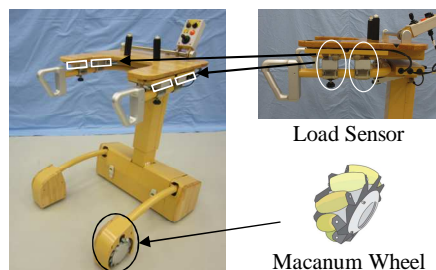


Fig. 1 Walking support robot

歩行支援ロボットは、適切に歩行支援を行うために、要支援者の行こうとする方向、つまり方向意図を正確に認識する必要がある。ジョイスティックやタッチパネルなどの方向指示装置を利用すれば、方向意図を歩行支援ロボットに伝えることができるが、立位姿勢保持筋力の不足な下肢障害者は、歩行しながら、これらのデバイス进行操作するのが困難である。そこで、我々の先行研究では、要支援者の歩行方向意図の同定法を開発し<sup>(2)</sup>、健常者に対して、有効性を検証した。しかし、本方向意図同定法は障害者に適用できるかは不明だった。よって、健常者の歩様とは異なる下肢障害者を対象とする実証実験を行う必要がある。

従って、本研究では、開発した歩行意図同定法を疑似障害者に適用するように、検証実験を行う。具体的に、まず、疑似障害者からアームレストに掛ける等価荷重を荷重センサーで測定し、前腕荷重の特性と移動方向意図との関係をファジィ知識として抽出する。次に、距離型ファジィ推論法を用いて<sup>(3)</sup>、疑似障害者の方向意図を推定する。

## 2. 前腕荷重の特性と方向意図との関連性

歩行支援ロボットのアームレストの中に埋め込む荷重センサーとして、それぞれの装入場所を Fig.2 に示すように、Sen.FR (右前)、Sen.FL (左前)、Sen.BR (右後)、Sen.BL (左後) である。センサーのサンプリング周波数は 7Hz である。 $f_i (i=1, 2, 3, 4)$  は、四つセンサーの測定値。式(1)により、被支援者は、歩行支援ロボットに作用する力の重心位置を求める。

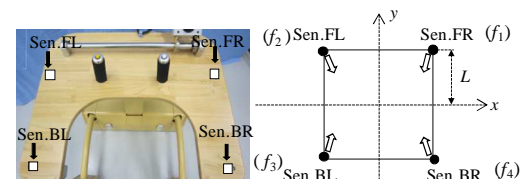


Fig. 2 Positions of load sensors

$$\begin{cases} x = L(f_1 - f_2 + f_3 - f_4) / (f_1 + f_2 + f_3 + f_4) \\ y = L(f_1 + f_2 - f_3 - f_4) / (f_1 + f_2 + f_3 + f_4) \end{cases} \quad (1)$$

## 2-1 前腕荷重の特性計測

実験により、前腕荷重の特性と移動方向意図との関係をファジィ知識として抽出する。実験において、被験者は右膝が疑似体験用具を付ける及び右足を 3kg の重みを付ける (Fig.3)。歩行する時、右膝を曲げられない、また、重みより右足は地面から離れない。

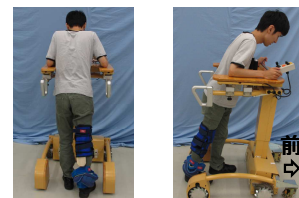


Fig. 3 Equipmental environment

被験者は指定される 8 方向 (右前 (45°)、前 (90°)、左前 (135°)、左 (180°)、左後 (225°)、後 (270°)、右後 (315°)) を意図方向として、歩行支援ロボットの助けをかりて、0.18m/s の速度で前方向に移動しながら意図方向に行こうとする、四つの荷重センサーにより要支援者からの荷重と荷重分布情報を測定する。被験者は平均身長 163cm、平均体重 58.6 kg で合計 4 人に実験を協力してもらった。

被験者一人で自由に移動すると疑似体験用具を付ける時、8方向に行こうとする時、アームレストに作用するの重心位置を Fig.4 に示す。左には被験者は自由に移動する時の結果で、右には疑似用具を付けるの結果である。Fig.4 に示すように、歩行支援によって歩行する時、障害者がロボットに掛ける荷重分配状況は健常者と相違である事が分かる、及び健常者よりばらつきが大きく、前腕荷重の特性と移動方向意図との関係も相違である事が分かる。

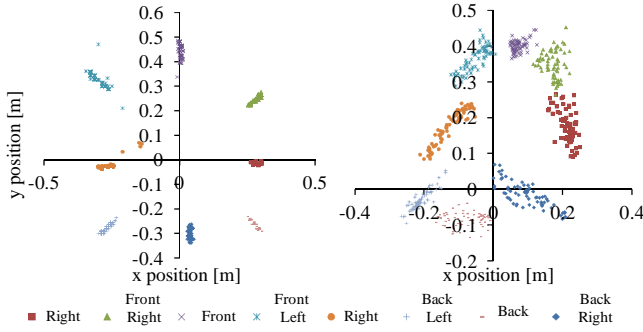


Fig. 4 Position of gravity-of-shift

2-2 前腕荷重と方向意図との関係

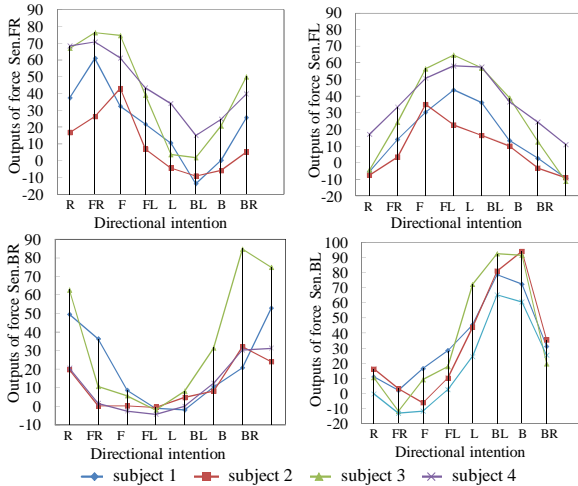


Fig. 5 Relationship between the outputs of four force sensor and directional intention

被験者4人が8方向行こうとする時、四つの荷重センサの測定値を Fig. 5 に示す、縦軸は、荷重センサ測定値であり、横軸は方向意図である。Fig. 5 ように、異なる被験者は、荷重データが違ってても、8 個方向意図に連れてほとんど同様な変化傾向があることを示した。前腕荷重は方向意図とは高い関連性が有ることが考えられる。

2-3 ファジィ知識ベースの構築

4人の被験者が8方向に行こうする時、4つの荷重センサに掛かる4人の被験者の平均値 Mean と標準偏差 SD を Table 1 に示す。

	Sen.FR		Sen.FL		Sen.BR		Sen.BL	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD
R	47.9	22.4	0.599	10.9	37.5	20.8	5.1	6.7
FR	57.2	20.2	18.9	11.9	13.1	14.9	-6.7	9.1
F	50.5	16.6	41.4	12.1	4.8	7.4	2.8	12.0
FL	26.3	16.1	41.4	18.1	-1.2	3.8	13.2	10.7
L	10.5	16.7	33.4	17.8	6.5	9.6	48.5	16.6
BL	-0.05	11.5	24.8	12.8	14.3	8.5	71.1	13.5
B	9.3	13.9	9.3	11.0	42.3	21.2	73.3	13.6
BR	30.5	19.5	-4.2	9.8	45.8	20.6	21.9	9.6

Table 1 の統計結果に基づいて、プロダクションルール  $R^1$  から  $R^8$  を抽出し、式(2)に示す。

- $R^1$ : If  $x_1 = A^{11}$  and  $x_2 = A^{12}$  and  $x_3 = A^{13}$  and  $x_4 = A^{14}$  Then  $y = b^1$
- $R^2$ : If  $x_1 = A^{21}$  and  $x_2 = A^{22}$  and  $x_3 = A^{23}$  and  $x_4 = A^{24}$  Then  $y = b^2$
- $\vdots$
- $R^8$ : If  $x_1 = A^{81}$  and  $x_2 = A^{82}$  and  $x_3 = A^{83}$  and  $x_4 = A^{84}$  Then  $y = b^8$

Fact:  $x_1 = a^1, x_2 = a^2, x_3 = a^3, x_4 = a^4$

---

Result:  $y = \beta$  (2)

ここで、前件部  $\{A^{11}, A^{21}, \dots, A^{81}\}$ ,  $\{A^{12}, A^{22}, \dots, A^{82}\}$ ,  $\{A^{13}, A^{23}, \dots, A^{83}\}$ ,  $\{A^{14}, A^{24}, \dots, A^{84}\}$  は、それぞれ Table1 示す荷重センサ Sen.FR, Sen.FL, Sen.BR, Sen.BL の平均値 Mean と標準偏差 SD である。後件部変数  $\{b^1, b^2, \dots, b^8\}$  は8個方向意図である。四つの前件部はアンド関係である。

3. 方向意図の推定

距離型ファジィ推論方法を用いて<sup>(3)</sup>、方向意図を求める。先ず式(3)により、 $A^i$  と  $i$  番目のルールにおける  $j$  番目の前件部  $A^{ij}$  との距離値  $d_{ij}$  を求める。ただし、 $i = 1, 2, \dots, 8$  はルールの数、 $j = 1, 2, 3, 4$  は前件部の数を表す。

$$d_{ij}(A^{ij}, A^i) = \frac{1}{\sqrt{3}} \sum_{k=1}^2 \left[ \sum_{l=k}^{k+1} (a_l^{ij} - a_l^i)^2 + \prod_{l=k}^{k+1} |a_l^i - a_l^i| \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

次に、式(4)より  $i$  番目のルールの前件部全体と事実との距離値  $d_i$  を求める。

$$d_i = \sum_{j=1}^4 d_{ij}(A^{ij}, A^i) \quad (4)$$

最後に、式(5)により、被支援者の方向意図方向の角度  $\beta$  を求める。

$$\beta = \sum_{i=1}^n \left[ b^i \prod_{j=1}^4 d_{ij} \right] / \sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^4 d_{ij} \quad (5)$$

4. まとめ

本報告では、提案した方向意図の同定法を利用して疑似障害者の移動方向意図を推定した。基本的な考え方としては、下肢障害者を模擬する疑似障害者の複雑な歩行特徴を、ファジィ知識ベースを利用して表現し、実際の歩行支援を行う際に、距離型ファジィ推論法を用いて方向意図を推定する。疑似障害者を対象として検証実験により、本方向意図の同定法は障害者にも適用できると考えるが、今後障害者を対象とする検証実験を実施する予定である。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 24300203 とキャノン財団の助成を受けたことを記し、感謝を申し上げる。

参考文献

- (1) 王義娜, 王碩玉, 譚仁鵬, 姜銀来, 石田健司, 藤江正克, デジタル加速度制御法に基づく歩行支援機の運動制御, 第29回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, RSJ2011AC2H1-8, 東京, 2011.
- (2) 王義娜, 王碩玉, 歩行支援ロボットの運動制御～要支援者の方向意図同定～, 第23回ライフサポート学会フロンティア講演会東京, 1A2-1, 2014.
- (3) 王碩玉, 土谷武士, 水本雅晴: 距離型ファジィ推論法, バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌, Vol.1, No.1, pp.61-78, 1999.