LIFE2015　2015 年 9 月 7 日－9 日 福岡（九州産業大学）

上半身の動作情報による下肢障がい者の掃除作業支援法

Cleaning Task Support for Lower-limb Handicapped Based on Upper Body Motion

○ 瀋博（高知工科大）　　王碩玉（高知工科大）

Bo SHEN, Kochi University of Technology
Shuoyu WANG, Kochi University of Technology

Abstract: As the aging society around world, the population of elderly is increasing rapidly in many countries, while the work force is decreasing gradually. More and more elderly lost independent living capability as the weakening of their lower limb or even lower-limb handicapped. However, the shortage of caregivers causes big burden on the society. In order to provide life support for the lower-limb handicapped, an activity of daily life assistance method by Human Support Robot (HSR) is proposed in this paper. By reasoning user's task intention according to upper body's motion detected using motion sensors, HSR is manipulated to perform the moving assistance for vacuuming task. Vacuuming task experiment was executed, and the experimental results was discussed finally.

Key Words: Life Support, Human Support Robot, Activity of Daily Life

1. はじめに

社会の少子高齢化につれて，加齢や事故などによる歩行障害者が増えてきている．一方，労働人口減少による介護者の人数不足問題が非常に深刻である．

先行研究では，下肢障害者の自立生活を支援するために，なるべく上半身の運動情報を積極的に活用した自立生活支援ロボットを開発している(1).

現在，ジョイスティックによる操作でロボットを制御できる．もしジョイスティック作業から片手を解放することができれば，両手による協調作業など複雑な作業を行えるようになり，結果として自立生活の度合いがより一層高まる．そこで，本研究は，モーションセンサーを用いて，上半身動作情報による自立生活支援ロボットの掃除支援方法を提案する．具体的には，本報告では，掃除作業を典型的な作業事例として，掃除作業時の上半身の動作情報を利用して，掃除作業の作業意図およびゴミにある方向を推定し，本生活支援ロボットにより障がい者の掃除動作を支援する．実験により本作業意図の推定法とロボットによる掃除作業支援の有用性を示す．

2. 掃除作業に関する知識の抽出

障がい者の掃除作業支援を行う前に，掃除作業という動作行為そのものについては細かく観察することにより，定性的ではあるが，有益な知識を獲得する．そのため，まず健常者の掃除作業を観察した．その結果，次の二点が分かった．

(1) 作業者は常にゴミのある方向に向かって掃除する．
(2) 作業者は常に最も近くにあるゴミを掃除する．

したがって，生活支援ロボットの運動方向を決めるには，(1)に関する知識を利用する．生活支援ロボットの移動速度を決めるには，(2)に関する知識を利用する．

また，上半身の動作情報と作業意図との関連性を調べるために，計測実験を行った．実験では，被験者二十代の健常者男性で， Fig. 1 の左辺に示す自立生活支援ロボットの三号機を用いて，代表的な掃除動作として，Fig.1 の右辺に示すように，次の三つパターンの掃除動作を行った．

A.1 は真正面床にあるゴミを掃除する；
A.2 は左前方床にあるゴミを掃除する；
A.3 は右前方床にあるゴミを掃除する．

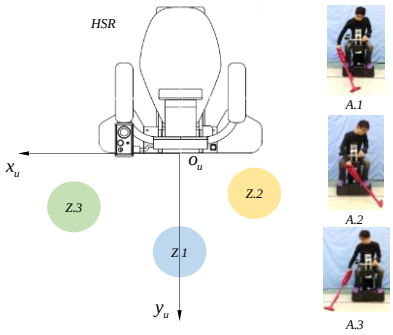

Fig.1 Cleaning intention and upper body motion

モーションセンサーを前腕に取り付けて，測定した三つの動作の特結果それぞれ Fig.2 に示す． *A.1*，*A.2* と *A.3* を比較することにより，三つの動作では，上肢の動きが明らかに異なることが分かる．掃除作業動作におけるこれらの特徴を適切に利用すれば，各々の作業意図を認識することができる．

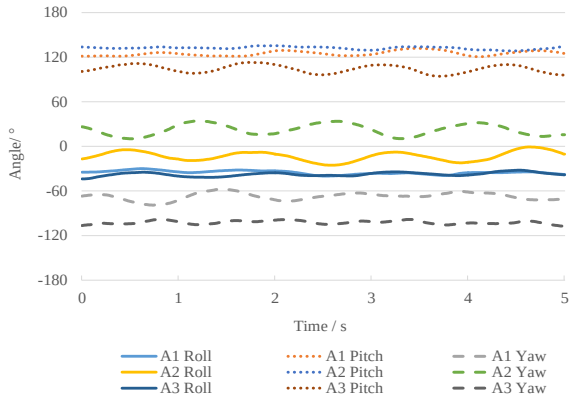

Fig.2 forearm movement for 3 actions

Fig.1 では，*A.1*，*A.2* と *A.3* に対して，*Z.1*，*Z.2* と *Z.3* はゴミがある場所を示す．ゴミの場所（*Z1*, *Z2*, *Z3*）に応じて，ロボットの移動方向はそれぞれ前方に進む，左に回転する，右に回転する，と決める．すなわち次のようにプロダクションルールで 3 つの知識を築くことができる．

ルール 1：前方のゴミを掃除する(*A.1*)なら，前進；
ルール 2：左前方のゴミを掃除する(*A.2*)なら，左回転；
ルール 3：右前方のゴミを掃除する(*A.3*)なら，右回転；

また、安全を確保するために，停止する意図を設ける．
ルール 4：掃除動作以外ならの動作なら，停止せよ；
以上のように，移動方向に関するルールは三つ，停止に関するルールは一つ，合計四つのルールを用いてロボットを制御すれば，ロボットによる掃除作業支援が可能になる．
次に，上半身の掃除動作情報に基づいて，利用者の作業意図を推論し，生活支援ロボットで掃除作業を支援するについて説明する．

3. 上半身動作の計測と動作特徴の抽出

上半身動作を計測するために，モーションセンサー(ZMP INC 社, IMU-Z)をセンプリング周波数 100Hz で 5 個用いた．装着方法は Fig.3 に示すように，左右前腕，上腕と背中の肩甲部の真中に 5 計五か所に取り付ける．

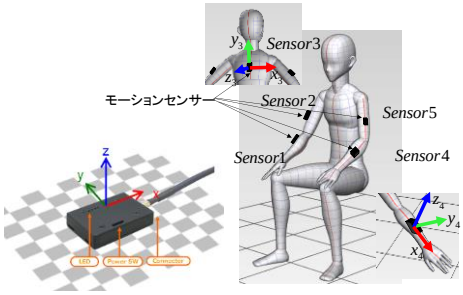

Fig.3 Motion sensor and position setting

上半身動作と掃除意図との関連性について計測実験を行った． 実験では， 20 代の健常な者を被験者として，自立生活支援ロボットにより Fig.1 の右辺に示す三つの掃除動作を行った．毎回測定時間は 20 秒と，10 秒間の連続化したオイラー角情報の平均値と標準偏差を求める．それぞれモーションセンサーから測定したオイラー角情報を連続化した後、その情報を作業意図推論の知識ベースとする．

4. 距離型ファジィ推論法による掃除支援動作計画

上半身動作と作業意図に関するファジィルールを利用して，ファジィ推論に基づいて与えられた上半身動作に対する作業意図を推論する．入力される事実は，リアルタイムに計測した上半身運動の特徴値であるため，実数値のシングルトンで表す．

$$
\begin{aligned}
Rule^i : if\ & S_{1xA} = A^i_{1xA}, S_{1yA} = A^i_{1yA}, S_{1zA} = A^i_{1zA}, \\
& S_{1xD} = A^i_{1xD}, S_{1yD} = A^i_{1yD}, S_{1zD} = A^i_{1zD}, \\
& \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\
& S_{5xA} = A^i_{5xA}, S_{5yA} = A^i_{5yA}, S_{5zA} = A^i_{5zA}, \\
& S_{5xD} = A^i_{5xD}, S_{5yD} = A^i_{5yD}, S_{5zD} = A^i_{5zD}, \\
& then\ y = \beta^i \ (i = 1,2,3)
\end{aligned}
$$

$$
\frac{Fact: \quad S_{1xA} = B_{1xA}, S_{1yA} = B_{1yA}, S_{1zA} = B_{1zA}, \cdots}{Result: \quad \beta}
$$

ここで，ある一定の時間の時系列データに対して，推論ルールの前件部として， A^i_{1xA} は i 番目のセンサーの x 軸の平均値， A^i_{1xD} は i 番目のセンサーの x 軸の標準偏差を表す．y 軸と z 軸においても同様に定義する．推論の後件部として，β^i $(i = 1, \cdots 4)$ で表し，それぞれの定義を Table 1 に示す．

Table.1 Feature of Vacuuming Motion

推論結果	支援動作
β^1	前に進む (0. 1 m/s)
β^2	左に回転する(10°/s)
β^3	右に回転する(10°/s)
β^4	止まる

距離型ファジィ推論法[2]はファジィ集合間の距離情報に基づいて推論を行うので,次のような特徴を持っている．疎なルールにも適用できる．“次のような特徴を持っている．”としているので、つまり、特徴だけを述べているので，特徴から得られるメリットについては言及しないこと

(1) 分離規則は満たされている．つまり，ルールの前件部集合と事実が一致した場合，推論結果がそのルールの後件部と同じになる．
(2) 漸近特性を持っている．漸近特性とは，前件部ルールのファジィ集合と事実の距離が 0 に収束すれば，推論結果とそのルールの後件部との距離も 0 に収束することである．
(3) 推論結果は凸なファジィ集合となる．
(4) 推論結果に整合性がある．

特徴(1)により，距離型ファジィ推論法は本研究の疎なファジィルールに対応でき，特徴(2)(3)により，被支援者の掃除器を掛ける上半身動作からある生活支援ロボットの支援動作が計画できるようになる．開発した掃除支援法を用いた掃除実験を行って，手法の有効性を検証した．実験では，被験者は，Fig.4 に表す様な 2m×2m のフィールドで， 5 か所に分散した紙のゴミを掃除機で自由に掃除する．

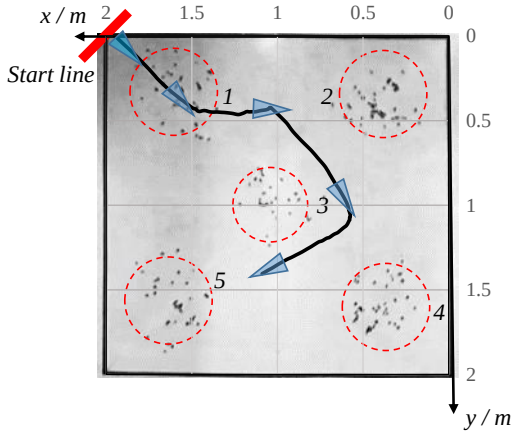

Fig.4 Experimental field

その際のゴミを掃除する順番は 1，3，2，5，4 である．掃除作業を支援するために，上半身掃除作業動作情報により，被験者の掃除作業意図を推論する．さらに推論した掃除意図により，生活支援ロボットの支援動作を計画した．ロボットの移動した経路結果を Fig. 4 に示す．ロボット掃除支援動作計画の結果より，掃除作業を適切に支援することが分かった．

5. 結語

本報告ではファジィ集合で曖昧な概念を定量化したプロダクションルールを用いて，異なる掃除動きの特徴を知識ベースとして抽出し，距離型ファジィ推論法に基づいて，掃除作業支援法を提案した．本生活支援ロボットを用いて掃除作業支援の実験を行い，提案した方法の有効性を示した．今後，多様な作業を支援するために，多様な作業意図の認識知識ベースを構築する．

参考文献

(1) 王碩玉，石田健司，藤江正克，室内移動補助も可能な新型歩行訓練機，日本機械学会2009年次大会講演論文集，Vol.7, No.09-1, pp. 283-284, 2009.
(2) 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(1999) pp.61−78.