【解説】

上肢障害者用食事支援ロボットの開発

Development of Meal-Assistance Robot for People with Disabilities of Upper Limbs

田中 幹也(正会員), 西村 悠樹(非会員)

Kanya TANAKA and Yuki NISHIMURA

Abstract

Meal-assistance robots are required for people with disabilities of upper limbs because they need help with eating. However, they can not use some famous robots because they can not handle the robots using joysticks or touch sensors. Some people, who have pacemakers in the body, can also not use the robots because electromagnetic motors are included. We therefore develop a meal-assistance robot using ultrasonic motors and eye-interfaces. The features of our robot are as follows: our robot has electromagnetic compatibility because we use the ultrasonic motors, which are driven by frictional forces. Our robot is handled by using acts of user's eyes. Moreover, our robot does not vibrate so much because the arms of our robot move independently of each other. In this paper, we show the detail of our robot.

Key Words

Meal-assistance robot, disabilities of upper limbs, ultrasonic motor, eye-interface

1. はじめに

現在の日本では高齢化に伴い身体障害者の総数が増加傾向にあり、そのうち、食事の介護を必要とする上肢障害者は約 86 万人である。¹⁾ 食事の介護には多くの時間を要するため介護者にとって大きな負担であり、また、少子化に伴い相対的な介護者の数は減少していく見込みである。一方、上肢障害者にとっても好きなように食事を楽しみたいという思いは強く、生活の質 (QOL: quality of life) の向上が求められている。このような現状から、自立的に食事を行うための食事支援ロボットは介護現場において強く必要とされている。従来提案されている食事支援が可能なロボットには iARM, ²⁾ HANDY1, ³⁾ マイスプーン ⁴⁾ などがある。これらはいずれも、電磁力モータで駆動し、ジョイスティックやタッチセンサで操作し、ロボットアームで掴むかスプーンで掬うことで食事支援を行うシステムである。これらのロボットを満足に使用する為には、ペースメーカを装着していないことや腕・手・指などの上肢に残存機能があることなどが求められる。また、アーム

で上手に掴めないような食品やスプーンで容易に掬えないような食物をロボット操作で食べることは諦めざるを得ない。そこで著者らは、超音波モータ (USM: Ultrasonic Motor) で駆動し、直交座標系で動作し、眼球運動を利用したインターフェースを持つ食事支援ロボットシステムを開発した。⁵⁾ 超音波モータは圧電素子の超音波振動による摩擦力を動力とするモータであり、DC モータをはじめとする電磁力モータとは異なり電磁両立性 (EMC: electromagnetic compatibility) を持つ。従って、ペースメーカを装着している障害者が接近しても安全である。また、超音波モータは一般的に動作音が静穏であり、駆動時の不快感が少ないことも特徴の一つである。ロボットのインターフェースには眼球操作を採用したが (アイ・インターフェース)、これはジョイスティックやタッチセンサとは異なり、視力が損失していなければ使用可能である。更に、目で見て操作することは、目で見て手で操作することに比べて直観的で分かりやすい。従って、高齢な上肢不自由者でも比較的操作しやすい。食物を口まで運ぶ機構には直交座標系を採用したが、これは従来型のロボットアームでは掴めない崩れやすいものや汁気の多いものの摂食支援を行うことも目的としているからである。また、機構としてもアームに比べて部品点数が少なく抑えられることから、より安価にロボットを製作できる上に制御しやすいというメリットもある。各ロボットのアクチュエータ及びインターフェースを Table 1 に示す。

2010 年 3 月 20 日受理

* 山口大学大学院理工学研究科
〒755-0097 山口県宇部市常盤台 2-16-1
情報・デザイン工学系学域,
Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi
University, 2-16-1, Tokiwadai, Ube 755-0097, Japan

Table 1 Actuators and interfaces of meal-assistance robots

	Actuators	Interfaces
iARM	DC motors	Joy stick
HANDY1	DC motors	Touch panel
My Spoon	Stepping motors	Joy stick
Proposed System	Ultrasonic motors	Eye-interface

Fig.1 Proposed meal-assistance robot system

本稿では、著者らが開発した上肢障害者用食事支援ロボットシステム(Fig.1)について解説する。

2. 超音波モータを用いた直交座標系の食事支援ロボット

本章では、開発した食事支援ロボットシステムのうち、実際に食事支援を行うロボット(Fig.2)の機構について説明する。ロボットは、食べ物を置く皿の部分、食べ物を押し出す部分(押し棒)、食べ物を口元まで運ぶ部分(スプーン)で構成されている。皿の部分は5つに仕切られており、各スペースに1口大の食物を2個置くことができる。押し棒は前後に駆動する部分(プッシャー)と上下に駆動する部分(シャッター)の2つで構成されており、食物の手前まで移動するとシャッターが下がり、食物をスプーン上に押し出す。その後、スプーンが使用者の口元まで伸長し、食事を支援する。各部にはラック&ピニオン(Fig.3)を用いており、モータのギアに取り付けたピニオンに回転力を加えることによって、ラックが水平方向に動き、直進運動する。本提案ロボットの駆動部分はこの直進運動のみで構成されており、高精度かつ高出力な動作が容易である。また、単純な平行移動しか行わないため、食事支援の際の振動を極力抑えることができる。

本提案ロボットのアクチュエータには回転型の超音波モータ(新生工業製:USR30-S3)を用いた。その構成をFig.4に示す。当該製品は、50kHz付近の2相の交流を印加することで圧電セラミックと弾性体から構成されるステータを振動させ、進行波を発生させることで圧着されたロータを摩擦力で駆動させる仕組みで

Fig.2 Structure of proposed robot

Fig.3 Rack and pinion

Fig.4 Structure of ultrasonic motor

ある。超音波モータは一般的なDCモータと比較して次のような特徴がある:

1. 低速時に高トルクを発生する。
2. 無通電時に保持トルクを有する。
3. 応答が速い。
4. 電磁両立性に優れる。
5. 静粛性に優れる。

これらの特徴から、本提案ロボットは電磁ブレーキを搭載せずとも制御が可能であり、ペースメーカ装着者でも接近可能であり、また食事支援動作中の騒音も少なくて済む。以上のことから、超音波モータは食事支援ロボットに適していると言える。

3. アイ・インターフェース

上肢障害者が自らの意思で食事支援ロボットを操作するためには、上肢を用いないインターフェースを採用する必要がある。それに加え、重度の上肢障害者は下肢をはじめとする他の部位にもハンディキャップを背負っている場合が多い。そこで我々は、眼球動作を用いた 2 種類のインターフェース(アイ・インターフェース)を構築した。一つは、Fig.5(a)に示す虹彩(Iris)の挙動を用いた視線検知型アイ・インターフェースであり、いま一つは、眼瞼(Eyelid)の開閉動作を用いた瞬目検知型アイ・インターフェースである。以下、詳細を述べる。

3.1 視線検知型アイ・インターフェース

まず、虹彩領域を検出するために、Fig.5(b)に示すテンプレート画像を用意する。サイズは 16×16pixel で 8bit のグレースケールである。濃淡値は、虹彩を 0、強膜(Sclera)を 128、上瞼(Upper eyelid)および下瞼(Lower eyelid)を 255 とした。

このテンプレート画像を、進化的動画処理⁶⁾を用いて探索対象である 320×240pixel のグレースケール画像(ターゲット画像)とマッチングさせる。進化的動画処理とは、Fig.6 に示す通り遺伝的アルゴリズム(GA: Genetic Algorithm)を用いた動画処理である。基本的には静止画を連続的にテンプレートマッチングする手法だが、高精度を保ちつつ処理時間を短くする工夫がなされている。静止画における GA を用いた基本的なテンプレートマッチング法をそのまま動画に適用すると、静止画一枚毎に初期値を乱数で与えることになる。それに対し、進化的動画処理では 2 フレーム目からは前のフレームで得られた遺伝子情報を継承している。これは、1 フレーム程度であれば虹彩の情報に大幅な変動がないことを利用したものであり、フレーム毎に乱数を用いるより高速に最適解に収束することが期待できる。

本研究で用いた染色体モデルは、虹彩の中心座標 (t_x, t_y) 、テンプレート画像に対する拡大縮小倍率 m 、及び回転角度 $angle$ の情報をそれぞれ 8bit 持つものとして構成されている(Fig.7)。

以上の準備のもと逐次テンプレートマッチングを行い、虹彩の位置座標から移動量を計算し、移動量が x 軸と y 軸でそれぞれ 5pixel 以下であれば注視と判定する。この処理を次の注視時まで繰り返し、その変位を視線の移動距離として算出する。

3.2 瞬目検知型アイ・インターフェース

まず、時刻 $k-1$ 及び時刻 k における 2 枚の画像(Fig.8)に対する差分画像(Fig.9)を求め、2 値化処理および雑音除去を行う。その後、白色部分の輪郭を抽出する。得られた輪郭が 2 つで、それらについて、重複がない、同程度で一定の面積である、横軸にほぼ平行である、といった眼瞼として満たすべき条件が整っている場合に眼瞼の開閉、すなわち瞬目を検知できたと判定する。本研究では、これらの処理は OpenCV⁷⁾で行っている。

Fig.5 Model of eye and template figure:
a) Model of eye, b) Template figure of eye

Fig.6 Evolutionary video processing
a) Main loop, b) Sub loop

Fig.7 Model of chromosome

4. 食事支援ロボットシステム

著者らが開発した食事支援ロボットを Fig.10 に、操作画面を Fig.12 及び Fig.14 に示す。本提案ロボットシステムは、次の手順で動作する。

1. システムが使用者の顔を逐次検出する。
2. 使用者が食べたい皿番号の選択を行う。
3. 選択した皿の食物をロボットが口元へと運ぶ。
4. 皿の選択に戻る、又は食事を終了する。

1.ではまず、カメラ画像から使用者の顔を高速検出し、次に適切な画像を撮影するようにカメラを自動調整する(Fig.11)。顔の検出には Adaboost 学習アルゴリズムを採用し、カメラの制御にはパン・チルト・ズームを用いた。これらの手法により、顔と画面の中心を一致させ、かつ顔のサイズが画面の 0.8 倍となるようにカメラを制御することが可能となる。

2.におけるロボットの操作方法は、前述した 2 つのインターフェースによって若干の違いがある。視線検知型アイ・インターフェースでは、まず Fig.12(a)の中央にあるカーソルを見て視線のデータを初期化し、次にカーソルを移動させたい方向へ目を動かす(Fig.13)。1 秒注視するとカーソルが目的の区画へ移動し(Fig.12(b))、その後 4 秒間注視を続けると区画が決定される。一方、瞬目検知型アイ・インターフェースでは、Fig.14(a)の画面においてカーソルが一定の時間間隔で動いており、目標とする区画にカーソルが来たときに眼瞼開閉を 2 度行くと、確認画面(Fig.14(b))に切り替わる。ここで更に眼瞼開閉を行えば区画の決定、しなければ一定時間後に再び Fig.14(a)の画面に戻る仕組みである。

3.において、ロボットは次の手順で動作する。まず、選択した皿をスプーンの正面に移動させ、次にシャッターで食物をスプーンの上に押し出し、スプーンを伸長させ食物を口元まで運ぶ。各皿は 2 口目まで食べられるようになっている(Fig.10(b))。従って、配膳の際には 1 口サイズに加工し、各仕切りの手前に食べ物を配置する必要がある。なお、1 口目か 2 口目をロボットに記憶させることで、食物を押し出す際のシャッターの初期位置を変更している。

4.において、食事を終了することを選択すれば、皿に食物が残っていても中断する。

5. 提案システムの特徴

本提案システムの大きな特徴の一つは、直交座標系の採用により従来は支援困難であるとされてきた食物の摂食支援が可能となる点である。著者らは、白米、白桃、豆腐、ナポリタンについて実機実験を行って、その有用性を確かめている。白米は日本人の主食であるため最もニーズが高いと考えられるが、掴む動作では米粒が分離し易く、支援中に落下する恐れがある。本提案ロボ

Fig.8 Images of face:

a) Image of time $k-1$, b) Image of time k

Fig.9 Computer-processed image:

a) Difference image, b) Detection image of blinking

(a)

(b)

Fig.10 a) Meal-assistance robot,
b) Numbers of parts of plate

ットでは、俵状に固めて皿にセットすれば、シャッターに米粒が付着することなく無事に支援できることを確認した。白桃は果汁が多いため滑りやすく、掴んだり掬ったりするのは難しい。一方、本提案システムは押し出す機構なので、食物が滑ることはハンディキャップとはならない。豆腐は滑りやすい上に崩れやすいという特徴を持っている。掴んで口元まで運ぶのは健常者でも失敗しやすい食物であるが、本提案システムのシャッターはゆっくり動くので、形状をほぼ保ったまま食することが可能である。最後のナポリタンは、一般的にロボットによる摂食支援の困難な麺類である。掴む・掬うといった動作はもちろんのこと、押し出す機構であっても成功するとは限らない。実際、本提案システムで行った 20 回の試験のうち失敗が 2 回あった。このうち 1 回はシャッターと皿との間に食物が挟まってしまい、もう 1 回においてはスプーンの伸長中に麺が落下してしまった。しかし、残りの 18 回は成功しており、成功率から言えば実用性は有していると考えられる。

本提案システムのいま一つの特徴は、アイ・インターフェースの採用にある。眼球の残存している上肢障害者は多い為、体の一部を接触させて操作するインターフェースと比べて使用対象者が幅広い。また、視線検知型と瞬目検知型の 2 種類のインターフェースを開発した主な理由は、操作感の違いを考慮したものである。視線検知型では進化的動画像処理を用いて虹彩の移動を検知して画面の注視を選択の決定と判断しているが、幾つか技術的な問題がある。一つは眼球が常に微小振動していること(固視微動⁸⁾)による誤検知であり、いま一つは瞬目によって虹彩が検知できずにカーソルが初期位置に戻ってしまうことである。これらの問題を解決する為に、インターフェース操作画面における各区画の端に赤い四角の枠を描画し(Fig.15)、更に注視を行う 4 秒間をカウントダウン表示する方式にした。固視微動は注視する目標が小さい方が少ない傾向にあり、⁸⁾瞬目は意識が目標に集中している際に抑制される傾向にある為、⁹⁾この方法は有効である。この手法については既に実験を行い、有用性を示した。¹⁰⁾一方の瞬目検知型は、眼瞼の開閉さえ検知できれば良いため、視線検知型に比べて実装は容易である。しかし、自発的な瞬目(随意性瞬目)だけを利用する為、無意識に起こる瞬目(周期性瞬目)や受光による瞬目(反射性瞬目)などの誤検知を防ぐ必要がある。この問題は、検知すべき自発的な瞬目をゆっくりしたものに限定することでほぼ解決する。また、瞬目検知型では視線の移動を検知しないのでカーソルを周期的に移動させる必要があり、使用者によってはストレスとなりかねない。注視の方が良いか瞬目の方が良いか、使用者の好みに合わせて設定を容易に変更できるのが本提案システムの利点の一つである。

また、駆動部に超音波モータを採用したことにより、電磁両立性が確保できた。このことは、ペースメーカ装着者が接近しても問題がないことを意味する。更に、前述の通り超音波モータは応答が速く、無通電時に十分な保持トルクを有する。このことは、予期しない誤作動が発生した際に緊急停止させるのが容易であり、停電時には機構全体に自動でロックが掛かった状態になることが見込まれる。このような安全面においても本提案システムは

Fig.11 Detection of face

(a)

(b)

Fig.12 Operation screen of iris-type eye-interface:

a) Initial state, b) State after selection

優位にある。更に、高価な部品をほとんど使用しておらず、部品点数も多くはない。インターフェースとして用いるパーソナルコンピュータも市販品で十分であり、カメラも安価な USB カメラでよい。従って、既製品に比べてトータルコストを下げられることが期待できる。

本提案システムの特徴をまとめると、次のようになる。

- ・使用対象者が幅広い(アイ・インターフェース)
- ・安全性が高い(超音波モータ)
- ・支援可能な食物が多い(直交座標系の機構)
- ・比較的安価

6. おわりに

今後の日本では少子高齢化により医療福祉分野に要求される技術もハイレベルなものになっていくことが見込まれる。本稿では、当該分野の中でもとりわけニーズが高まると予想される食事支援のシステムを扱い、著者らが開発したロボットシステムを紹介した。実用化に向けて細かい改良を重ねていく必要はあるものの、大まかな構成は完了したと考えている。

参考文献

- 1) 厚生労働社会・援護局障害保険福祉部, 平成 18 年身体障害児・者実態調査結果. 厚生統計協会 2008; 4.
- 2) テクノツール ロボット事業部 アイアーム, <http://www.ttools.co.jp/robot/arm.html>, 2010/03/19 アクセス.
- 3) M. Topping, An Overview of the Development of Handy1, a Rehabilitation Robot of Intelligent and Robotic Systems 2002; **34**: 253-263.
- 4) 石井純夫, 食事支援ロボット「マイスプーン」, 日本ロボット学会誌 2003; **21**(4): 44-47.
- 5) Y. Kodani, K. Tanaka, Y. Wakasa, T. Akashi, and M. Oka, Meal Assistance Robot with Ultrasonic Motors. Proc. of 2007 International Conference on Mechatronics and Information Technology 2007.
- 6) T. Akashi, M. Fukumi, and N. Akamatsu, Real-Time Genetic Lips Region, Detection and Tracking in Natural Video Scenes. Proc. of IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems 2004.
- 7) 奈良先端科学技術大学院大学 OpenCV プログラミングブック製作チーム, OpenCV プログラミングブック. 第 1 版. 東京:毎日コミュニケーションズ, 2007.
- 8) 境野, 鉄谷, 岸野, 最大エントロピー法と高次モーメント特徴量に基づく眼球運動パターンの時系列解析. 電子情報通信学会論文誌 1993; **J76-A**(8): 1024-1041.
- 9) 小濱, 新開, 臼井, マイクロサッカードの解析に基づく視覚的注意の定量的測定の試み. 映像情報メディア学会誌 1998; **52**(4): 571-576.
- 10) 小松, 田中, 若佐, 西村, 岡, 上肢障害者のための食事支援ロボット. 第 7 回生活支援工学系学会連合大会 2009; 3D1-3(018).

Fig.13 Relation of movement of iris and operation screen:
a) Directions of movement of iris, b) Operation screen

Fig.14 Operation screen of blinking-type eye-interface:
a) Initial state, b) State after selection

Fig.15 Developed operation screen of iris-type eye-interface