

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330226

研究課題名(和文) 誤認識を利用した音声操作型環境制御装置：Bio-remoteの提案と障害者支援

研究課題名(英文) Speech controlled environmental control system: Bio-Remote for the physically challenged based on candidate word discriminations

研究代表者

芝軒 太郎 (SHIBANOKI, Taro)

茨城大学・工学部・講師

研究者番号：70711290

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、誤認識に基づく音声操作型環境制御装置：Bio-Remoteを開発するとともに、行動の予測モデルに基づく操作支援を実現した。そして、肢体不自由者の自立生活を支援するためにBio-Remoteシステムを応用したロボットマニピュレータ制御および衝突回避機能を有する移動型ロボットについて検討を行った。

研究成果の概要(英文)：This study proposed a speech controlled environmental control system (ECS): Bio-Remote (BR) based on candidate word discriminations and realized operation assistance using a Bayesian network-based prediction model. In order to maintain an independent life for the physically challenged, this study also proposed robotic manipulator control based on the BR, and obstacle avoidance method for mobile robots.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：誤認識 環境制御装置 モジュール化 行動予測 操作支援 非接触インピーダンス 衝突回避 構音障害

### 1. 研究開始当初の背景

厚生労働省調査において、日本国内における重度肢体不自由者の数は約 76 万人にのぼっている。肢体不自由者の生活の質の向上、生活の支援の一環として、音声認識技術を利用した環境制御装置がさまざま提案されている[ライフタクト:旭化成テクノシステム, 伝の心:日立ケーイーシステムズ]。しかしながら、例えば高いレベルで頸髄損傷を患った患者では呼吸がままならなくなり、呼吸器の影響によって上手く発声することができない場合がある。通常、音声認識では一般的な話者を対象としており、呼吸器を付けた患者の音声認識して機器を制御することは困難である。そのため、システムが人間の状態を学習し、それに合わせた機器制御が可能なシステムを開発する必要がある。また、頸髄損傷患者の多くは在宅医療を受けており、特に完全麻痺の頸髄損傷患者は四肢が不随のため介護福祉士、医療従事者、または患者の家族のいずれかが 24 時間体制で状態をモニタリングする必要がある。従来、非拘束下で生体信号計測・評価を行うシステムの開発やエアマットを用いて非拘束で生体信号計測・評価の実現とともに不整脈や睡眠時間、無呼吸症候群の検知などができるモニタリングシステムが提案されている[Wang et al., 2006, 渡辺ら, 2000]。しかしながら、これらの計測システムでは、不整脈や無呼吸等の緊急的危険性の検知は考慮されているものの、血圧脈波が計測できないため循環器系の慢性的危険性の検知機能を有しておらず、褥瘡などの合併症防止について考慮されていない。このとき、24 時間モニタリングシステムに求められる機能としては、不整脈や無呼吸等の緊急的危険性、および血圧などの循環器系の慢性的危険性の検知機能がある。さらに、四肢不随であるために褥瘡を防止でき、長期間使用することを想定して、非拘束かつ簡便に患者の生体信号を計測できる必要がある。

### 2. 研究の目的

本研究では、重度肢体不自由者の生活支援を目的として、移動から身の回りに存在する家電機器の制御までを一貫して行える新しいヒューマン・マシン・インタフェースを提案する。提案法ではまず、音声認識で起こり得る誤認識を利用して被験者の意図を読み取る方法を新たに提案し、発話に障害を持つ構音障害者の不明瞭な発話でも操作が可能な音声操作型環境制御装置を開発する。このとき、操作者の置かれた環境のモデルを構築し、環境レベルに適応した機器制御を可能とするとともに、使用者の生活習慣や好み、癖などのパターンをモデル化・予測して操作支援を実現する。また、重度肢体不自由者が自立した生活を営むことを考えると、単に身の回りの機器を制御するのみならず、操作者自らが自由に移動するための手段が必要にな

ると考えられるため、非接触インピーダンスを用いた衝突回避機能を有する移動型ロボットを開発する。

### 3. 研究の方法

音声認識を用いた機器制御インタフェースでは、計測した音声信号から被験者の意図を正確に読み取る必要がある。本研究では、人工呼吸器を必要とする高位頸髄損傷患者の「声にならない声」から操作者の意図を読み取ることができる音声認識法を提案し、提案法を用いた環境制御装置:Bio-Remoteを開発する。提案法ではまず、計測した音声信号からメル周波数ケプストラム係数にもとづく特徴量を抽出し、通常の音声認識で用いられる音響モデルと言語モデルを用いて音声認識を行う。ここで得られた、単語列および音素列、その尤度のうち上位  $N$  個の組み合わせを学習する。識別の際は新たな抽出結果を学習済みの結果と比較し、類似度を求めて最大となるクラスを結果とする。大語彙・不特定話者モデルを用いて音声認識を行なった際の誤認識を含めた認識結果のパターンを学習して識別することで、操作者が上手く発声できない場合においても発声の再現ができれば識別が可能である。最終的には、識別結果に応じた制御命令を赤外線信号として送信することにより様々な家電機器の制御を行う。

誤認識を含む単語列の組み合わせを利用した識別法によって高位頸髄損傷患者が自らの意思で機器を制御できる可能性があるが、使用環境によって変化する操作者のニーズをリアルタイムにシステムに反映させるためには、気温や使用場所などの操作者を取り巻く外部の生活環境に応じた機器制御を実現することが望ましい。また、操作者の行動には何らかのパターンが存在すると考えられるため、操作履歴や操作場所などの操作を行なった状態に基づいて次の一手を予測し、提案システムの操作メニューに予測結果をフィードバックすることで機器操作の支援を行なう。予測モデルにはベイジアンネットを用い、操作コマンドや時間帯などの操作履歴を入力要素として操作メニューの第 1 層における各ノードをノード間の因果関係をもとに条件付確率で表現することで、行動の予測が可能である。また、開発した環境制御装置:Bio-Remoteの各機能をモジュール化することで個々が置かれた状況に適したシステム構築が実現できる。

このような環境制御装置によって重度肢体不自由者の生活の質は向上すると考えられる。重度肢体不自由者がより自立した生活を営むためには、生体信号で制御可能な移動型ロボットが必要不可欠である。ここでは、生体信号制御型移動ロボットの衝突回避モデルを新たに構築する。具体的には、移動ロボットの周りに球状の仮想的な壁を配置することで、周囲に存在する障害物との衝突回

避を可能とする。障害物と移動ロボットとの間に仮想インピーダンスを設定して反力を求め、移動量を調整することで衝突を防止することができる。

最終的には実際に提案システムを利用した評価室でこれらシステムの検証を行い、実用化を見据えた評価を行う。

#### 4. 研究成果

本研究では、(1) 誤認識に基づく音声操作型環境制御装置：Bio-Remote の開発とその (2) 操作支援、(3) 操作者に適応する支援ロボットについて検討を行なった。

##### 研究成果 (1) 誤認識に基づく音声操作型環境制御装置：Bio-Remote の開発

環境制御装置：Bio-Remote の音声操作方式について検討を行った。まず、誤認識に基づく音声認識モデルを提案し、環境制御装置：Bio-Remote の操作方式に適用した。提案モデルでは、通常の不特定話者モデルで音声認識した際に得られる単語列（音素列）の候補ならびにその尤度を抽出・学習することで、不明瞭な発話による誤認識が生じた場合においても使用者の操作意図を識別することができる。そして、識別結果に応じた制御命令を赤外線信号として送信することでさまざまな機器を制御可能である。提案モデルを用いた家電機器制御実験より、制御に用いる僅かな機器・コマンドをあらかじめ発話・学習しておくことで、構音障害者等の不明瞭な発話を高い精度で識別し、随意的な家電機器制御が実現できることを示した [Journal of Robotics, Networking and Artificial Life (JRNAL) 2017]。また、使用者の意図を機器に伝達して制御するのみならず、抽出した意図を代用発声することで意思伝達を同時に実現可能とした [SI2016【優秀講演賞受賞】]。

##### 研究成果 (2) 環境制御装置：Bio-Remote のモジュール化と階層型予測モデルによる操作支援

開発した環境制御装置：Bio-Remote は、使用者個々に合わせた多種多様な入力手段（スイッチ、タッチパネル、筋電位、脳波、音声、etc.）を有するとともに、赤外線信号の学習機能によりさまざまな機器の制御に応用可能である。また、適応学習によって操作者個々の能力に合わせた制御が可能である。しかしながらその機能は複雑化しており、専門知識を有する技術者がシステム内部を調整する必要があった。そこで、OpenRTM を利用し、Bio-Remote を機能ごとにモジュール化することで使用者個々に合わせて柔軟にシステムの再構築や機能変更・追加が可能な環境制御装置を開発した。Bio-Remote は操作者から筋電位や脳波などの生体信号を計測・特徴抽出し、計測信号の特徴から操作者の意図を識別してその結果に応じた制御命令を赤外線信号として送信することで多種多様な機

器を操作可能である。提案システムでは、1. 計測・特徴抽出部、2. 操作意図識別部、3. コマンド制御部、4. 赤外線送信部および5. 操作画面描画部において各モジュールの入出力を明確にしてプラットフォーム化することで、専門家でなくとも簡便にシステムの構築を可能とした。また、日常生活での利用を想定した評価を行うための評価空間を構築し、上腕切断者を対象とした機器制御実験を行い、提案システムを用いて自在に家電機器を操作できることを示した [日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014]。

次に、環境制御装置：Bio-Remote の新たな操作方式および操作支援のための行動予測モデルについて検討を行った。まず、箔状フレキシブル圧電センサ（箔状圧電センサ）を利用した着脱容易なメガネ型インタフェースを開発し、Bio-Remote の操作に応用した。提案メガネ型インタフェースは市販のメガネおよび箔状圧電センサを配置したタッチメントから構成されており、頬のわずかな動きに伴う圧力変動を計測できる。提案システムでは、動きの速さや強さに基づく特徴量を確率ニューラルネットを用いて識別することで随意的な家電機器制御を実現した。また、提案インタフェースの着脱時間を筋電位センサと比較し、センサ着脱の時間を大幅に削減できることを示した [9th international Convention on Rehabilitation Engineering & Assistive Technology (i-CREATE2015)]。

そして、Bio-Remote システム操作のための予測モデルを提案し、予測結果に基づく操作支援を実現した。提案モデルは Bio-Remote 操作のための階層メニューに合わせた L 層のページアンネットワークモデルであり、各階層は制御機器の制御コマンドや制御機器に対応している。過去の操作履歴や時間帯などを入力要素として、操作コマンドの条件付き確率を算出可能である。実験では、頸髄損傷患者を対象として実生活における操作履歴を取得し、高い精度で使用者の行動を予測・提示可能であることを示した [37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC'15)]。

##### 研究成果 (3) glovebox システムの操作支援と衝突回避機能を有する移動型ロボット

Bio-Remote システムを応用し、特殊な環境下で作業を行うための glovebox システムの操作支援を実現した。提案システムはボックス内にマニピュレータを搭載しており、グローブのみでは困難な作業を支援できる。使用者は筋電位信号を用いて Bio-Remote の操作画面を操作し、glovebox 内外の環境およびマニピュレータを自在に制御できる。これにより使用者がグローブを着脱することなく、様々な機能を実行可能とした [Handbook of Research on Advancements in Robotics and Mechatronics, Chapter 3, 2014]。

そして肢体不自由者が自立した生活を営むために必要となる、移動型ロボットの操作支援を実現した。提案法は機械インピーダンスに基づく仮想壁をロボット周囲に多層に配置することで、障害物と接触する前にその反力を求めて衝突回避を行なうことができる。各層は異なるパラメータを有することで、自然な回避から緊急停止までさまざまな状況に対応可能とした。実験では、シミュレーションにより提案モデルの動作を検証するとともに、実際に2輪を独立駆動可能な小型ロボットに提案モデルを適用することで、さまざまな状況下で適切な回避が実現できることを確認した [ JRNAL ]。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[ 雑誌論文 ] (計 2 件)

Haruna Kokubo, Taro Shibasaki, Takaaki Chin and Toshio Tsuji, "Obstacle Avoidance Method for Electric Wheelchairs Based on a Multi-Layered Non-Contact Impedance Model", Journal of Robotics, Networking and Artificial Life, 査読有り, Vol. 4, Number 1, 2017.

Taro Shibasaki, Go Nakamura, Takaaki Chin and Toshio Tsuji, "A Voice Signal-Based Manipulation Method for the Bio-Remote Environment Control System Based on Candidate Word Discriminations", Journal of Robotics, Networking and Artificial Life, 査読有り, Vol. 4, Number 1, 2017.

[ 学会発表 ] (計 4 件)

菅野 亮太, 芝軒 太郎, 中村 豪, 陳隆明, 辻 敏夫, "誤認識を利用した代用発声システム", 第17回公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2016), 札幌, 2016年12月15日~17日

Taro Shibasaki, Go Nakamura, Keisuke Shima, Takaaki Chin, and Toshio Tsuji, "Operation Assistance for the Bio-Remote Environmental Control System Using a Bayesian Network-based Prediction Model", Proceedings of 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC '15), Milan, August 25th-29th, 2015.

Go Nakamura, Akitoshi Sugie, Taro Shibasaki, Keisuke Shima, Yuichi Kurita, Yuichiro Honda, Takaaki Chin and Toshio Tsuji, "Development of the Bio-Remote Adaptive Human Interface with Novel Glasses-based Operation", 9th international Convention on Rehabilitation Engineering &

Assistive Technology (i-CREATE2015), Singapore, August 11st-14th, 2015.

中村 豪, 本田 雄一郎, 芝軒 太郎, 陳隆明, 辻 敏夫, "OpenRTM を利用した環境制御装置「バイオリモート」のモジュール化", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014, 富山, 2014年5月25日~29日

[ 図書 ] (計 1 件)

(1) Toshio Tsuji, Taro Shibasaki and Keisuke Shima, Handbook of Research on Advancements in Robotics and Mechatronics, Edited by Maki K. Habib, Chapter 3, "EMG-based control of a multi-joint robot for operating a glovebox", IGI Global, 2015, 17.

[ 産業財産権 ]

出願状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

取得状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
取得年月日 :  
国内外の別 :

[ その他 ]

ホームページ等 :  
<http://bs.cis.ibaraki.ac.jp>

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

芝軒 太郎 (SHIBANOKI, Taro)  
茨城大学・工学部・講師  
研究者番号 : 70711290

(2) 研究分担者

辻 敏夫 (TSUJI, Toshio)  
広島大学・工学研究院・教授  
研究者番号 : 90179995

陳 隆明 (CHIN, Takaaki)  
神戸大学・医学研究科・客員准教授  
研究者番号 : 20437495