

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 5日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22500278

研究課題名（和文） ヒト腕の運動生成のモデル化とそれを利用した新しい手話翻訳法の研究

研究課題名（英文） Research about a human arm movement generation model and a new translation method of sign language using the model

研究代表者

福村 直博 (FUKUMURA NAOHIRO)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：90293753

研究成果の概要（和文）：

ヒト腕の2点間到達運動の運動計画モデルであるジャーク最小モデルに経由点を付加することで、より複雑な運動を再現することができる。ヒト腕運動はこのような経由点列の情報から生成されているという仮説をより複雑な条件で検証し、計測した軌道データから経由点を抽出するアルゴリズムを検討した。さらに、手話単語の自動翻訳に応用した。計測した手話単語の運動軌道を近似するための少数の経由点を抽出し、この情報を用いて手話単語を翻訳する実験を行い、従来手法より高い認識精度を示した。

研究成果の概要（英文）：

Adding some via-points data, complex human arm movements are reproduced by the minimum-jerk model that is a motor planning model of a point-to-point movement. We verified the hypothesis under various conditions that the human arm movements are generated from such a series of via-points data and proposed a via-point extraction method from measured trajectory data. Moreover, we applied the hypothesis to a sign-language translation system. A few via-points were extracted from each sign-word movements based on the minimum-jerk model and a translation algorithm using these via-points information was proposed. In the translation experiments, the proposed method showed a high accuracy rate.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・生体生命情報学

キーワード：脳型情報処理、ヒト腕運動、運動規範、運動の知覚、手話翻訳

1. 研究開始当初の背景

ヒトにとってジェスチャーは大事なコミュニケーション手段の一つである。自分が運動を行なう時と、他者の同様な運動を観測する時に反応する“mirror-neuron”の発見以

来、ヒトの運動生成と他者の運動を知覚する情報処理過程には関係があり、これがジェスチャーコミュニケーションにおいて重要であると指摘されている。すなわち、運動の生成者が伝えたい情報を表す運動の特徴と、知

覚者が観測した運動において着目する特徴が一致すれば運動の意図が推定でき、ジェスチャーコミュニケーションが成立する。言語が異なる人とでも身振りによって情報伝達が可能であるのは、誰でもほぼ共通である、運動制御のための内部モデルを利用しているからであると考えられる。すなわち、運動を生成するメカニズムを理解すれば、運動を知覚するプロセスもそれに基づいて解明できると予想される。

ヒト腕運動生成のモデルとして、ジャーク最小モデルやトルク変化最小モデルなどの、滑らかな運動を選択するという運動規範が提案されており、これらがヒト腕の運動を良く再現する事が知られている。これらの最適化規範を使うと運動軌道データから運動生成における *intrinsic* な特徴量を抽出できる。Wada らは、ヒト腕の運動は少数の経由点を拘束条件とし、それらを通るトルク変化最小軌道として生成されると仮定し、計測した運動軌道から必要な経由点を抽出する手法を提案した。しかし、運動の条件などによっては経由点以外の条件が与えられている運動も存在する。より効率的で妥当性のある表現方法が存在する可能性もあり、多様な条件下での運動の解析に基づく脳内での運動の表現方法の検討が必要である。

運動表現の特徴量を同定するためには、運動の生成モデルを検証しつつ、並行してその表現方法を用いた認識モデルを検討することでよりその妥当性が高められる。その例として、この認識モデルをヒト腕運動による身振りコミュニケーションの典型例である手話翻訳に応用することを検討する。手話を学ぶための辞典などには、手話単語の運動の特徴などがまとめられており、認識モデルで抽出された特徴量の妥当性の検証が容易である、好都合な研究例である。

手話は聴覚障がい者にとっては必須の言語であるが、健常者とのコミュニケーションは容易でなく、手話通訳者の数も十分でない。そこで手話翻訳システムの開発が求められる。手話翻訳の研究の主流はカメラなどの非接触型のセンサにより手話の行為者をカメラで撮り、画像処理によって手話運動を抽出して言語に翻訳する研究と、被験者に取り付けたセンサを用いて得た腕の位置や手形状の計測データから翻訳する研究に大別されるが、本研究では腕運動の生成モデルの検証が主であることから、後者の手法により手話翻訳を試みる。同様な先行研究の例として、佐川らがこのような時系列パターンの認識手法として一般的に使われる DP マッチングを使った手法を検討している。佐川らは DP マッチングを用いて計測した手話単語の運動データを認識すると計算時間がかかり、実用的でないため、運動軌道データから運動の

速度方向が変わる点などを主な特徴点として抽出し、情報量を減らしてから DP マッチングを行う手法（圧縮 DP マッチング）を提案した。しかし、特徴点の数を少なくするように選ぶと計算時間は短くなるものの、正解率は低下するという、トレードオフが発生する。これは、これらの特徴点が運動データを再現できるほど十分な情報を保持していないからであると考えられる。運動がジャーク最小軌道で近似できるようなデータであることを考慮することで、計測した単語運動の情報量を効率よく保持する特徴点を抽出でき、翻訳において高い正解率が期待できる。

2. 研究の目的

本研究ではヒト腕運動の生成や知覚の心理物理実験を通してその情報処理過程を解析し、そのモデルを利用した手話翻訳システムの構築などを通してモデルの妥当性を検証していくことを目的とする。そのために目的は2つに大別される。

(1). ヒト腕運動を生成するための拘束条件の抽出

Wada らの仮定は、始点終点以外に少数の拘束条件（例えば経由点）のみを記憶し、それを満たす滑らかな軌道を選んでいるという仮定であったが、運動の目的・条件によっては、経由点の位置以外の情報も拘束条件として考えられる。例えば、ある経由点のある速度で通過するという拘束条件を仮定すれば、経由点の数は減少し、ヒトが生成時に意識する経由点の数が減少するため、運動生成は容易になると予想される。そこで、経由点の位置だけでなく条件を与えたときにヒトが行う運動と、ジャーク最小モデルなどによる予測軌道を比較して、ヒト腕運動を表現する拘束条件として妥当な特徴量を特定する。

(2). 手話運動の解析に基づく拘束条件抽出アルゴリズムの検証と手話単語翻訳の基礎的検討

手話はその習得のために、単語を表す運動における経由点の大まかな位置や、そのときの運動情報などの特徴がまとめられており、これらが手話運動における拘束条件と考えられる。したがって、提案手法を手話運動データに適用し、抽出された特徴と手話辞典などにまとめられている運動の表現と照合することで、経由点情報等の抽出アルゴリズムの妥当性の検証に有効であると考えられる。さらに適切な経由点情報が抽出されれば、離散的な時刻における拘束条件だけが抽出されるためシンボル列に変換でき、手話から日本語への翻訳が容易になることが期待できる。すなわち、ヒト腕運動の特徴抽出アルゴリズムの検証と共に手話単語の翻訳システ

ムの基礎的な検討が可能となる。

本研究では、単語動作を表現している拘束条件の表現を経由点の位置と仮定し、計測した運動データに(1)で提案したアルゴリズムを適用して経由点の位置を抽出し、日本語の単語に翻訳する手法を検討する。

3. 研究の方法

(1). ヒト腕運動を生成するための拘束条件の抽出

図1のような環境で3次元位置計測装置を用い、水平面内で経由点の位置のみを指定した場合、さらにその位置での運動方向を指定した場合にヒトが描く運動軌道を計測し、モデルが予測する軌道と比較した。また、位置のみを指定した計測軌道を経由点を通るジャーク最小軌道で近似するための経由点抽出方法を検討し、上記の計測実験において指定した経由点の位置情報と比較し、経由点抽出方法を検証した。

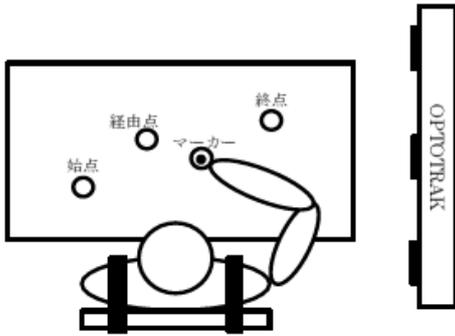


図1 運動計測環境

(2). 手話運動の解析に基づく拘束条件抽出アルゴリズムの検証と手話単語翻訳の基礎的検討

図2のような実験環境で、主に右腕の運動のみで表現される手話単語運動を計測した。次に(1)で検討した計測軌道をジャーク最小軌道で近似するための経由点を抽出する方法を用いて経由点の位置情報を抽出し、この経由点列情報を用いた翻訳実験での精度を調べることで、経由点情報の運動表現としての妥当性を検証した。

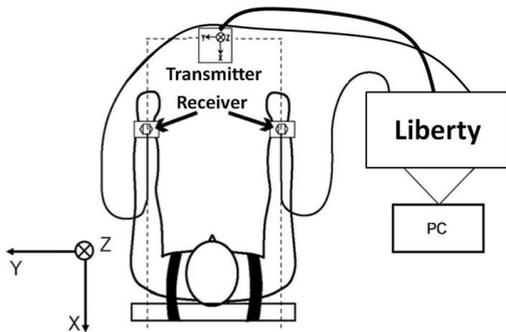


図2 手話運動計測環境

4. 研究成果

(1). ヒト腕運動を生成するための拘束条件の抽出

水平面内で行われた、経由点の位置を指定した運動の計測軌道からジャーク最小モデルに基づき経由点を抽出する手法を検討するため、まず、計測軌道を最も近似するジャーク最小軌道の経由点を総当たりで探索した。その結果、同じ運動条件であっても経由点の位置が試行ごとにばらついてしまった。そこで、ある程度経由点の位置の範囲を限定するため、経由点が現れやすい運動軌道の曲率が極大となる点をまず探し、その近傍で軌道誤差を極小とする経由点を探索する手法を提案し、指定した経由点付近でばらつきが小さい経由点を抽出できることを確認した。

また、経由点での運動の指定方法を検討した。経由点での速度まで指定することは困難であると考えられたため、経由点での運動方向を指定した運動を計測し、同条件でのジャーク最小軌道と比較した。経由点の位置のみを指定したジャーク最小軌道は計測軌道によく似た軌道になったのに対し、経由点での位置と運動方向を指定した場合には、ジャーク最小軌道では似た軌道にはならなかった。そこで、運動計画モデルをジャーク最小モデルからトルク変化最小モデルに変更して、経由点とその位置での運動方向を指定したトルク変化軌道を数値計算で求めたところ、図3のようにジャーク最小軌道と比較すると運動の特徴はやや似てきたが、十分に計測軌道を再現できているとは言えない結果となった。すなわち、ヒト腕の運動軌道の表現方法としては、経由点の位置情報を用いることが妥当であることが示唆された。

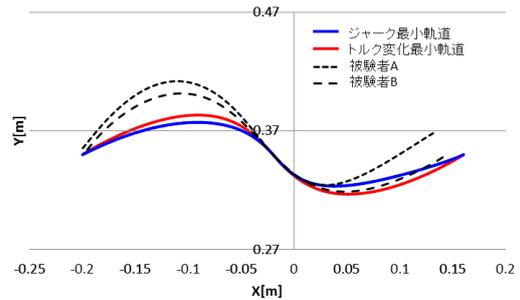


図3 経由点と運動方向を指定した場合にヒトが描く運動と、ジャーク最小モデル、トルク変化最小モデルに基づく予測軌道の比較

(2). 手話運動の解析に基づく拘束条件抽出アルゴリズムの検証と手話単語翻訳の基礎的検討

手話単語運動から(1)で提案した手法を用いて抽出された経由点を手話単語の翻訳に用いる実験を行った。まず1名の被験者から360単語の運動を計測した。他方、手話に熟練した6名から60単語の運動を計測した。

これらの運動データからまず単語を表す運動区間を運動の接線速度情報を基に切り出し、さらにその運動区間から曲率が極大なる位置を初期値とした探索方法により経路点を抽出した(図4)。経路点を探索した結果、軌道の近似が十分でない場合には、計測軌道とジャーク最小軌道との誤差が最大の点に経路点を増やし、再度探索を繰り返すこととした。また、図5のような円運動に近い場合などでは明確な曲率の極大をもたないケースがあるため、その場合には運動を等分割した位置を経路点の初期位置として探索を行い、軌道近似が十分でない場合には分割数を増やして探索を繰り返すことで、十分に近似できる経路点を決定した。

この提案手法により、手話単語は始点、終点を含めて2~7個の特徴点に圧縮された。これらの経路点情報を用いて、翻訳実験を行った。

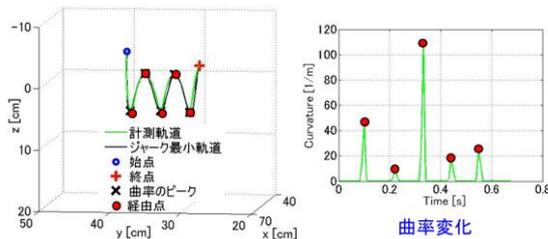


図4 曲率のピークのある手話単語(料理)の経路点抽出結果

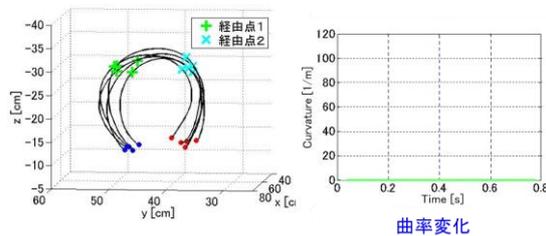


図5 曲率のピークがない手話単語(皆さん)の経路点抽出結果

経路点情報の照合方法として、2通りの方法を提案した。運動軌道から抽出された経路点列は非常に少ないため、経路点の数に応じて辞書データを作成しておき、翻訳する運動パターンは同じ経路点数の辞書データとのみ比較する方が容易かつ、高精度であると期待できる。手話の運動の場合には試行ごと、あるいは被験者の個人差により、ある程度空間的な位置がずれてしまうことがあるが、絶対的な位置の誤差よりも運動軌道の形状自体が重要である場合が多い。しかし、空間位置の違いにより単語の意味が変わる場合も存在する。このように、個人差やヒト腕運動のばらつきに依存する誤差は許容し、単語の

違いに依存する誤差は評価する基準が必要になる。そのため、手話の音韻表記法の空間部門を参考に、まず、腕の運動が行われる空間を $4 \times 4 \times 4$ に統計的な分布に基づいて分割し、この同区間内の点を比較する場合についてはばらつきの範囲として重みを付けず、異なる区間にある点を比較する場合は単語間の相違とみなして、大きな重みをつけるように距離計算を行う手法(空間分割法)を提案した。

一方、複数話者を対象とすると、経路点の数は同じ単語であっても多様になり、手話単語翻訳の先行研究や音声認識の分野で使われているように、DPマッチングが有効であると考えられる。ただし、今回用いる経路点列情報は多い場合でも7点程度と極めてパターン長が短く、また、そのサンプル時間も等間隔でない上にデータによって大きく異なっており、従来のDPマッチングでは有効な照合精度を示すことができなかった。そこで、経路点を通る時刻を全体の運動時間で正規化した経路点通過時間情報をDPマッチングの重みに加える手法(時刻DPマッチング)を提案した。

経路点による運動の表現方法、及び提案したマッチング手法を検証するため、先に計測した右腕の運動のみで表現される手話単語の翻訳実験を行った。単一話者の360単語のデータを用いた場合、各単語の5動作により辞書データを作成して、他の5動作によって検証する手法で翻訳の正解率を求めたところ、空間分割法の場合は95.57%、時刻DPマッチングの場合には89.38%となった。一方、複数話者の場合には、6名のうち5名でのデータで辞書データを作成し、1名のデータで検証することをすべての組み合わせで行うLeave-One-Out交差検証を行ったところ、空間分割法では84.88%、時刻DPマッチング法の場合には87.25%となった。特に複数話者のデータにおいては、データを圧縮せずに全データを用いてDPマッチングを行った場合と比較しても高い正解率となった。また、どちらの実験においても、先行研究で提案された速度変化に依存する特徴点と、我々が提案するジャーク最小モデルに基づく経路点それぞれを用いて、先行研究で提案された圧縮DPマッチングでの重みづけを用いて照合した翻訳実験結果では、正解率はジャーク最小モデルによる経路点の方が高く、かつ計算速度も極めて早いことが確認され、先行研究で問題となった翻訳精度と計算時間のトレードオフを解決できた。この結果は、ジャーク最小モデルに基づく経路点が運動を表す特徴点として妥当性が高いことを示唆する結果といえる。

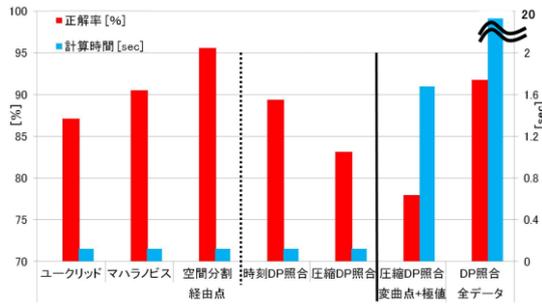


図6 単一話者の360単語の翻訳実験結果

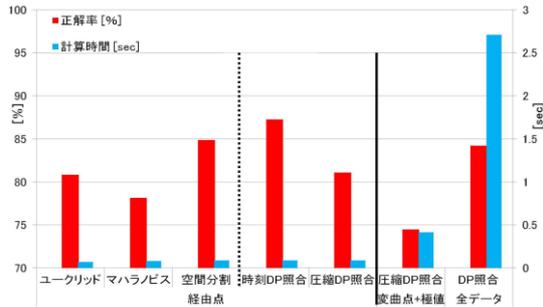


図7 複数話者の60単語の翻訳実験結果

本研究を通して、ヒト腕による複雑な運動を生成・認識するときには経由点の位置情報がintrinsicな特徴量であることが示唆される結果となった。今後は目標の軌跡が与えられて、それをなぞるような運動を行う場合などの解析を進めるとともに、複数の単語からなる手話文から経由点を抽出して翻訳を試みるなどの検討を進める。

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)

[学会発表] (計12件)

- ① 吉岡源太, 福村直博, 軌道予測によるマスタースレーブ制御の時間遅れ補償, 電子情報通信学会 2013年総合大会講演論文集 (情報・システム講演論文集1), pp. 14 (D-2-2) 2013年3月 (岐阜大学)
- ② 猪狩晋平, 福村直博, ジャーク最小モデルに基づく経由点を用いた複数話者の手話運動情報からの単語認識法, 電子情報通信学会 WIT 研究会, 信学技報 Vol. 112, No. 475, WIT2012-90, pp. 257-262, 2013年3月 (福岡工業大学)
- ③ 猪狩晋平, 福村直博, ジャーク最小規範に基づいた経由点の空間的な位置を考慮した手話認識手法, 電子情報通信学会 NC 研究会, 信学技報 Vol. 112, No. 345, NC2012-89, pp. 73-78, 2012年12月 (豊橋技術科学大学)
- ④ 益崎克成, 福村直博, ヒトとロボットの

同じタスクにおける共通の特徴点解析, 平成24年度電気関係学会東海支部連合大会, L1-3, 2012年9月 (豊橋技術科学大学)

- ⑤ 松田雅博, 福村直博, 複数の教示パターンを用いた見真似学習, 平成24年度電気関係学会東海支部連合大会, K1-5, 2012年9月 (豊橋技術科学大学)
- ⑥ 澄田慎二, 福村直博, 経由点抽出によるリズム表現運動の解析, 電子情報通信学会 2012年総合大会講演論文集 (情報・システム講演論文集1), pp. 22 (D-2-14) 2012年3月 (岡山大学)
- ⑦ 和田健太, 福村直博, 経由点及び運動方向を指定したジャーク最小モデルの検証, 電子情報通信学会 2012年総合大会講演論文集 (情報・システム講演論文集1), pp. 24 (D-2-16) 2012年3月 (岡山大学)
- ⑧ 松田雅博, 福村直博, 複数の教示パターンによるロボットの見真似学習法の検討, 第54回自動制御連合大会 pp. 118-120 (1C-203), 2011年11月 (豊橋技術科学大学)
- ⑨ 猪狩晋平, 福村直博, 手話翻訳実験によるジャーク最小規範に基づく経由点抽出方法の検討, 第5回 Motor Control 研究会, 発表番号34, 2011年6月, 自然科学機構 岡崎コンファレンスセンター)
- ⑩ 猪狩晋平, 福村直博, ジャーク最小規範を用いて抽出された経由点の手話翻訳システムへの活用法, 電子情報通信学会東海支部 卒業研究発表会 PA-19, 2011年3月 (愛知工業大学)
- ⑪ 高島俊一, 福村直博, 運動方向を指定したヒト腕運動からの経由点抽出方法, 電子情報通信学会 NC 研究会 信学技報 Vol. 110, No. 461, NC2010-160, pp. 193-198, 2011年3月 (玉川大学)
- ⑫ 猪狩晋平, 福村直博, 手話翻訳に利用する特徴点としてのジャーク最小規範に基づいた経由点の検討, 電子情報通信学会 NC 研究会 信学技報 Vol. 110, No. 355 (No. 354), NC2010-68, pp. 73-78, 2010年12月 (名古屋大学)

[その他]

ホームページ等

<http://www.bmcs.cs.tut.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福村 直博 (FUKUMURA NAOHIRO)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 90293753