

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25330335

研究課題名(和文) ヒト腕運動の生成・認識モデルに基づく手話学習システムの検討

研究課題名(英文) Sign Language Recognition System based on the Generation and Recognition Model for Human Arm Movement

研究代表者

福村 直博 (Fukumura, Naohiro)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90293753

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：人が行う巧みな運動は、始点と終点に加えて運動が満たすべき少数の経由点などの拘束条件のみを脳内で表現、記憶し、それを満たす最適軌道として生成されているという仮説がある。曲線を描く運動やオーケストラの指揮運動の軌道を生成するシミュレーションや、曲線を描くときの視線計測実験などで、この仮説を検証した。さらにこれらの経由点の情報を用いた手話認識のアルゴリズムを検討した。15人の被験者に依頼して手話検定5級レベルの360単語を計測し、腕運動のみで表現される手話単語の場合には90.2%、右手のみで表現される手話単語の場合も90.0%の認識率を示し、有用な手法であることを確認した。

研究成果の概要(英文)：A hypothesis that human skillful hand motions are generated as optimal trajectories that represent and store only constraint conditions such as a few via-points where the hand pass in addition to the start and the end point of the trajectory in the brain. We examined this hypothesis by simulating the curved hand movements and the orchestra's conducting motion trajectory and gaze measurement experiment when drawing the curve. We also proposed algorithms for sign language recognition using information about these via-points. We measured 360 sign language words and showed recognition rate of 90.2% in the case of sign language words expressed only by both arm movement and 90.0% in case of sign language words expressed only with a dominant hand, respectively.

研究分野：生体情報工学

キーワード：手話単語認識 躍度最小軌道 ヒト腕の運動 ジェスチャー

1. 研究開始当初の背景

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”の存在は、ヒトの運動生成と他者の運動を知覚する情報処理過程の関連を示唆しており、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考えられている。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、知覚者が観測された運動軌道で着目する運動の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。

ヒトが行う様々な巧みな腕の運動の生成過程について様々な仮説が提案されているが、その一つに、始点終点以外に運動を満たすべき少数の拘束条件(例えば経由点)のみを脳内に表現、記憶し、それを満たすトルク変化最小軌道として運動が実現されているという仮説がある。我々はこの仮説に基づき、最適化計算が容易な躍度最小モデルを用いて、ヒトの腕運動の計測軌道から効率よく経由点を抽出するアルゴリズムを提案した。特に手話の単語運動を解析し、抽出された経由点を用いて単語の認識実験を行ったところ、極めて優れた手法であった。この結果は、有効な手話翻訳アルゴリズムの開発の可能性を示しているとともに、経由点による運動情報の表現がヒト腕運動の生成モデルや認識モデルとしての妥当であることを間接的に示している。

手話は聴覚障がい者の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はなく、翻訳システムの開発が望まれる。手話翻訳システムは主に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、言語に翻訳するという研究が主流である。近年、ヒトの運動を計測できる Kinect などの比較的安価なデバイスが発売され、ヒトのモーション解析が手軽に可能になり、このようなデバイスを用いた、手話認識システムの開発が期待されている。

2. 研究の目的

上述した、ヒトが行う上肢の運動は始点終点と少数の拘束条件を満たす軌道から最適な軌道を選んでいるという仮説に基づき、本研究では次の2つの研究課題に取り組んだ。

(1) ヒトの上肢の運動の計測軌道から経由点を抽出する実験や、経由点などの拘束条件を仮定した上肢の運動を再現するシミュレーションを通して仮説の妥当性を検証し、運動を生成する情報処理過程のモデルを構築すると同時に運動パターンの認識を行うモデルを構築する。

(2) 構築した認識モデルを、手話検定5級レベルの手話単語運動の解析に適用して手話認識アルゴリズムを検討し、認識率の向上を目指すと共に、運動パターン認識モデルの妥当性を検証する。

3. 研究の方法

(1) ヒトが手で描く曲線運動を計測すると共に、拘束条件を付加してその運動を再現するシミュレーション実験を行って運動軌道と比較し、拘束条件が経由点の位置情報なのか、他の速度情報などを含んでいるのかを検証する。

(2) ジェスチャーコミュニケーションの一つであるオーケストラの指揮者の運動をモーションキャプチャによって計測し、この軌道データから運動を再現するための経由点を求める。抽出された経由点がリズムを表現する位置に現れるかを検証することで、経由点情報が運動の特徴を表す情報であるかを検証する。

(3) 曲線を描くときの手先の運動と、そのときの視線情報を同時計測し、運動中に注視している点と、目標軌道を計算する際に指定した経由点と比較することで、目標軌道から運動時に経由点を抽出して運動を行っているかを検証する。

(4) 手話熟練者の手話検定5級レベルの手話単語をモーションキャプチャで計測して、運動軌道から経由点を抽出し、その情報をもとに手話単語を認識するアルゴリズムを検討する。同時にデータグロブを用いて手形状も計測し、腕運動および手形状の情報を統合して、手話検定5級レベルの単語の認識システムの構築を行う。

4. 研究成果

(1) ヒトが曲線を描く運動を再現する拘束条件を検討した。経由点の位置と速度を拘束条件として、経由点数を減らした場合のトルク変化最小軌道のシミュレーションを行ったが、ヒトの運動を再現することが難しいことを確認し、拘束条件としては位置情報のみの経由点を多く設定した方が運動の再現性が良いことを確認した。

(2) 複雑なヒト腕の運動は複数の経由点を通る躍度最小軌道として生成されているという仮説をもとに、ジェスチャー運動の例としてオーケストラの指揮者の運動から経由点を抽出することを試みた。複数の経由点を通る周期運動の躍度最小軌道を導出し、計測軌道をよく近似できるような経由点を探索

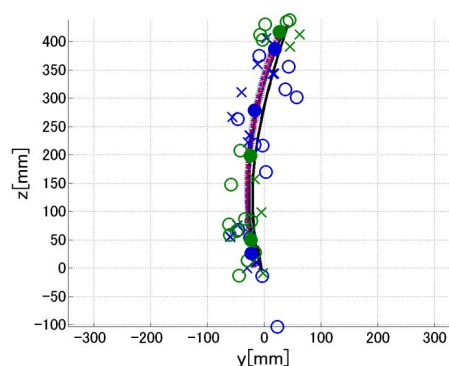


図1：腕の上下運動から抽出された経由点

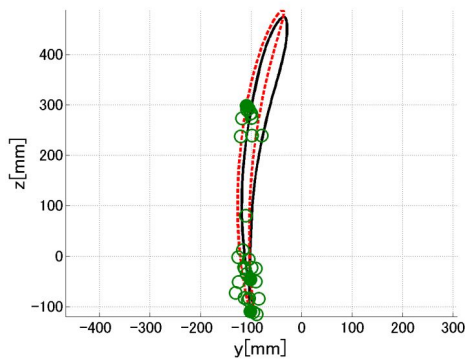


図 2 : 指揮運動から抽出された経由点

したところ、滑らかな腕の周期運動と比較して、指揮運動は各運動周期から抽出される経由点がほぼ同じ位置、特にリズムを表現する最下点付近に現れることを確認した。これはジェスチャの認識において経由点を抽出しているのであれば、最下点が自然に注目しやすくなることと、経由点パターンが一意に定まりやすい指揮運動のような運動パターンの方が認識しやすいことを示唆していると考えられる。

(3) 線を描く運動を行った時に、視線位置と同時に視線位置を計測した実験データを提供してもらい、運動中に視線が留まる固視点と経由点の関係を調べた。明確に経由点付近に固視点が多いという傾向は得られなかったが、経由点付近では固視している時間が長くなる傾向があることを確認した。

(4) 手話認識アルゴリズムについて、腕の運動軌道をジャーク最小軌道と見なして経由点を抽出し、DP マッチングを用いて認識する方法を提案した。まず右腕のみで表現可能な 50 単語を計測して認識実験を行ったところ、95.2%の認識率を得た。また、パターン認識

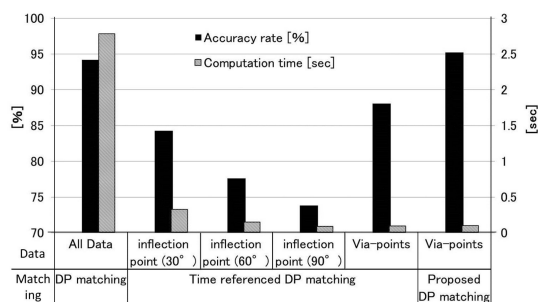


図 1 : DP マッチングによる正解率と計算時間

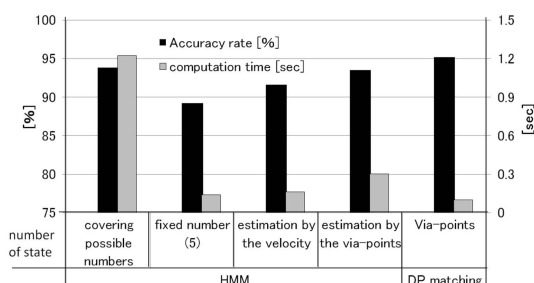


図 2 : HMM による正解率と計算時間

法として Hidden Markov Model (HMM) を用いることとし、HMM の状態数を経由点数に基づいて決定する手法を提案して検証したところ、93.5%の認識率を得た。これらの結果は従来手法で認識実験を行ったときとほぼ同等の認識率であり、かつ計算量をかなり減らすことができた。

(5) 両腕運動で表現される手話単語へ認識対象を広げ、認識アルゴリズムを検討した。手話には 1. 利き手しか使われない片手手話、2. 利き腕が動いて非利き手は定まった位置にとどまる優位調整、3. 両手が対称的な運動を行う対称調整がある。そこで、腕運動データから、まず非利き手の運動距離及び両手運動の対称性を用いてこれらの 3 つのカテゴリーに分類するアルゴリズムを検討した。分類したのち、片手手話の場合には(4)で提案した腕運動からの経由点を抽出する手法を用いてその経由点数を利き手の HMM の状態数に設定、優位調整の場合では利き手、非利き手それぞれで経由点抽出を行ってそれぞれ状態数を設定、さらに対称調整の場合では非利き手の経由点数に利き手の HMM の状態数を設定して、利き手、非利き手それぞれの腕運動を認識する HMM を設定された状態数によって学習し、その結果を Multi-Stream HMM の考え方で統合するアルゴリズムを提案した。15 人の被験者によって計測した手話検定 5 級の単語から両腕の運動だけで判別可能な 160 単語を選んで認識実験を行ったところ、認識率は 90.0%を示した。

(6) 利き手の腕運動及び手形状で識別できる 148 単語を選び、Multi-Stream HMM を用いた翻訳手法を検討した。腕運動については(4)で提案した HMM の方法で、手形状については腕運動と同様の考え方で、手指関節の運動方向が変化する点を抽出し、その数を状態数とする HMM を学習するアルゴリズムを採用した。さらにこの 2 つの HMM を multi-stream HMM として認識する際に、腕運動および手形状の各モダリティに対応する HMM の出力を正規化したのちに、腕運動と手形状の認識結果を統合する際の重みに Linear Discriminant Analysis の結果による重みを用いた。計測した手話検定 5 級の単語から両腕の運動だけで判別可能な 148 単語を選んで認識実験を行ったところ、正解率は 90.2%を示した。

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 1 件)

猪狩 晋平, 福村 直博, 手話翻訳を目指したジャーク最小モデルに基づく手話単語の腕運動パターンの認識, 電子情報通信学会論文誌 D, 査読有, J98-D, No.3, 2015, pp.437-446

DDI:

10.14923/transinfj.2014PDP0007

〔学会発表〕(計 13 件)

中村 晋之介, 尾崎 紀夫, 定藤 規弘, 井本 敬二, 宍戸 恵美子, 福村 直博, 曲線をなぞる運動におけるサッケード位置の解析, 電子情報通信学会 NC 研究会, 2016 年 12 月, 豊橋技術科学大学(愛知県豊橋市)

E. Shishido, S. Okazaki, K. Imoto, N. Sadato, N. Fukumura, N. Ozaki, Analysis of eye-movement when drawing a line, 第 39 回日本神経科学大会, 03-J-1-3, 2016 年 7 月, 横浜パシフィコ(神奈川県横浜市)

S. Igari, N. Fukumura, Recognition of Japanese Sign Language Words Represented by Both Arms Using Multi-Stream HMMs, The 7th International Multi-Conference on Complexity, Informatics and Cybernetics (IMCIC 2016), March 2016, Orland (USA)

S. Igari, N. Fukumura, A Study of Sign Language Recognition Using Via-Points based on a Minimum Jerk Model, International Conference on Instrumentation, Control, Information Technology and System Integration (SICE Annual Conference), September 2013, 名古屋大学(愛知県名古屋市)

S. Igari, N. Fukumura, An LDA based Weight Estimation Method for Multi-Modal Sign Language Recognition, The 2nd International Conference on Information Technology (ICIT 2016), pp157-162, March 2016, Melbourne (Australia)

E. Shishido, K. Yasaki, T. Itoh, Y. Itoh, S. Okazaki, K. Imoto, N. Sadato, N. Fukumura, N. Ozaki, Eye-hand Coordination in Tracing Tasks of Professional and Non-professional Calligraphers, 第 38 回日本神経科学大会, 2015 年 7 月, 神戸国際会議場(兵庫県神戸市)

山崎 拳志郎, 伊藤 竜樹, 伊藤 嘉邦, 岡崎 俊太郎, 定藤 規弘, 尾崎 紀夫, 井本 敬二, 宍戸 恵美子, 福村 直博, 書道家が線を描く時の目と腕の協調運動の特徴抽出, 電子情報通信学会 NC 研究会, 2015 年 3 月, 玉川大学(東京都町田市)

山崎 拳志郎, 伊藤 竜樹, 伊藤 嘉邦, 岡崎 俊太郎, 定藤 規弘, 尾崎 紀夫, 井本 敬二, 宍戸 恵美子, 福村 直博, 線の描画時の視線計測に基づくアイ・ハンド・コーディネーションの解析, 電子情報通信学会 NC 研究会, 2014 年 12 月, 名古屋大学(愛知県名古屋市)

S. Igari, N. Fukumura, Sign Language Word Recognition using Via-point Information and Correlation of the Bimanual Movements, International Conference on Advance Informatics: Concepts, Theory and Applications (ICAICTA2014), August 2014, Bandung, (Indonesia)

山崎 拳志郎, 伊藤 竜樹, 伊藤 嘉邦, 岡崎 俊太郎, 定藤 規弘, 尾崎 紀夫, 井本 敬二, 宍戸 恵美子, 福村 直博, 線の描画運動における書道習熟度と視線先行の関係, 第 8 回モーターコントロール研究会, 2014 年 8 月, 筑波大学(茨城県つくば市)

和田 健太, 福村 直博, Kinect を利用した腕運動と手形状に基づく手話認識手法の検討, 電子情報通信学会 WIT 研究会, 2014 年 3 月, 筑波技術大学(茨城県つくば市)

猪狩 晋平, 福村 直博, 腕運動の経由点情報と左右の腕の相関性を用いた手話単語認識, 電子情報通信学会 WIT 研究会, 2014 年 3 月, 筑波技術大学(茨城県つくば市)

澄田 慎二, 福村 直博, 周期運動のジャーク最小軌道による指揮者の叩き運動の解析, 電子情報通信学会 WIT 研究会, 2014 年 3 月, 筑波技術大学(茨城県つくば市)

山崎 拳志郎, 福村 直博, 経由点の位置と運動方向を指定したトルク変化最小軌道の検証, 平成 25 年度電気関係学会東海支部連合大会, 2013 年 9 月, 静岡大学(静岡県浜松市)

〔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

(4) 研究協力者

猪狩 晋平 (IGARI Shinpei)
豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・博士後期課程

東島恵美子(宍戸恵美子) (SHISHIDO Emiko)
名古屋大学・医学系研究科・特別研究員
研究者番号: 40723101