

ジェスチャによる原初的なコミュニケーションプロトコル生成の一考察

An exploration on establishing primordial communication protocol using gesture

徐 涌^{*1} 植田 一博^{*2} 小松 孝徳^{*3} 岡留 剛^{*4} 亀井 剛次^{*4} 大本 義正^{*1} 角 康之^{*1} 西田 豊明^{*1}
Yong Xu Kazuhiro Ueda Takanori Komatsu Takeshi Okadome Koji Kamei Yoshimasa Ohmoto Yasuyuki Sumi and Toyoaki Nishida

^{*1} 京都大学 ^{*2} 東京大学 ^{*3} 信州大学 ^{*4} NTT コミュニケーション科学基礎研究所
Kyoto University The University of Tokyo Shinshu University NTT Communication Science Laboratories

This paper investigates how primordial communication protocols can be established in human-human nonverbal communication. By conducting a human-human communication experiment, it is found that stop and direction gesture occupies the most part of all types of gesture. The alignment principle works as a basic protocol in a cooperative guiding task. More abstract gestures such as “bomb circling” and “keep going” are observed. The establishment of protocols using such kinds of gestures can be established only if the both people understand the other’s learning state. This research focuses on the establishment of the primordial protocols in a cooperative directional guiding task using gesture between people, and discusses the potential possibility of its application to human-robot communication as well.

1. はじめに

人同士の間には、ジェスチャ、姿勢、視線、表情、韻律など様々な非言語手法を用いたコミュニケーションはよく行われている。

鯨岡ら[鯨岡 1997]の研究では心理学の視点から、人同士のコミュニケーションを感性的コミュニケーションと理性的コミュニケーションの二種類に分類し、感性的コミュニケーションを原初的なコミュニケーションとして解釈した。一般論的に「原初的」は「発達論の初期段階」を指すことは多いが、本論文の中に論じる「原初的」とは、対面する二者の間に、非言語コミュニケーション手法による最低限な意図疎通を達成するためのコミュニケーションのことだから、「発達初期」に限定される必要がなく、理性コミュニケーションの中で、非言語情報、特にジェスチャに注目し、原初的なプロトコルの生成の仕組みを調べ、人同士、または人と人工物の間の非言語コミュニケーションプロトコルの生成に注目したい。

2. 研究目標

2.1 ジェスチャによるコミュニケーション

McNeill ら[McNeill 2005]はジェスチャと言葉が同じ源泉「Growth Point」から来たものだと見て、言語とは独立したコミュニケーションのチャンネルを構成していると主張されている。

言語情報を使うコミュニケーションは文字シンボルの符号化が形成されたことを前提にしているのと比べ、符号化しにくい、曖昧性が多いジェスチャによるコミュニケーションは原初的なコミュニケーションに近いと言える。

2.2 関連研究

協力作業において、二人の人(指示者と行動者)はコミュニケーションを達成するために、指示者と行動者の間にコミュニケーションプロトコル(これ以降は簡便化するために、コミュニケーションプロトコルをプロトコルだけで表現する)を生成する必要がある。指示者と行動者は協力作業をしている時、シンボル創発を誘発した要因は、指示に関して絶対権限を握っている指示者側ではなく、むしろ受け身の立場にある行動者側にある。植田

ら[植田 2006]の迷路探索実験で、行動者の積極的な行動による、「ストップ」指示の後に、方向指示の代わりに、行動者の回転行為に対する正しいかどうかの指示に変わり、新しい教示パターン=コミュニケーションプロトコルが生じた。細馬ら[細馬 2004]の対面会話による指示に関する実験では、向かい合って座る人同士は自分の身体で相手の身体を語る実験で、指示者の指示は豊かな行為を持つ聞き手に依存することは報告された。ところが、一人だけでプロトコルを構成しようとしても、もう一人はそのプロトコルに対して理解出来なければ、あるいはその理解の状態を示さなければ、プロトコルは定着しにくい。

小松ら[Komatsu 2005]の研究では、ラケットゲームを用いた音声指示にローパスフィルターが掛けられた教示者とボールを見えずにフィルターされた音声指示を聞いてラケットを動かす操作者の間に、双方は相手の指示(ラケットの動き)に適応し、方向指示のプロトコルは定着した後に、速度指示のプロトコル生成の新しい段階に移り変わる現象が観察され、相互適応の枠組みを提案した。

本研究はこれらの研究から得られた知見を確認する上に、ジェスチャによるコミュニケーションプロトコルの生成過程に注目している。

2.3 目標と研究方法

本研究の目標は非言語コミュニケーション(特にジェスチャ)により、人と人工物の間にコミュニケーションプロトコルを生成できる人工物(ロボット)の開発にある。研究方法としては、三段階の方法を提案し、第一段階の人同士のジェスチャによるコミュニケーション観察実験、第二段階の人と人工物の WOZ (Wizard of OZ) 実験、および第三段階の人と学習能力を持つ自律的な人工物の実験から構成されている。本論文は主に第一段階の実験で観察された典型例と得られた知見を紹介する。

3. 実験

まずは第一段階の人同士の非言語コミュニケーション観察実験を紹介する。この実験では、二人(この後は「指示者」、「行動者」と称す)が協力する道案内タスクを使う。

3.1 実験目的と設定

本研究の目的は人同士がジェスチャを用いてコミュニケーションする時、プロトコル形成の仕組みの解明にある。指示者と行動者が協力的に道案内タスクの実験を設計した。

連絡先: 徐涌, 京都大学大学院情報学研究所, 京都市左京区
吉田本町, 電話: 075-753-5391, FAX: 075-753-4961, 電子
メール: xuyong@ii.ist.i.kyoto-u.ac.jp

指示者は指示者しか見えない地図情報を読みながら、ジェスチャで行動者へ指示を伝える。行動者はジェスチャ指示を読み取りながら、移動する行動によってタスクを遂行していく。床圧力センサーを利用したので、行動者は地図情報を見えないので、指示者のジェスチャ指示を理解しなければ行けない。指示者は移動軌道が見えるが、床上で移動して、自力でタスクをクリアすることは出来ないため、行動者に正しく行動させなければいけない。従って、指示者と行動者の間にジェスチャを使って、コミュニケーションする必要がある。指示者と行動者はお互いに協力してタスクを制限時間内にクリアするために、ジェスチャを用い、コミュニケーションプロトコルを構成していくことは必要になる。

本研究ではジェスチャに注目しているが、ほかの非言語チャンネルによる影響を取り除くために、指示者と行動者ともマスクを着用させ、表情を遮断し、サングラスを着用させ、視線情報を排除し、言葉の使用を禁じ、音声言語の影響を取り除いた。行動者の回転動作によるジェスチャ指示が見えなくなることを避けるために、行動者は常に指示者に顔を向いて移動するように要求された。実験環境及び実験風景は図1に示した。実験設定に関する詳しいことは[Xu 2007a]に参照されたい。

3.2 実験手順

実験者は指示者に、“あなたは地図に従ってジェスチャで相手(行動者)に指示を与え、できるだけ軌道に沿い、地雷を避け、点滅しているチェックポイントのターゲットをクリアし、出来るだけ速くゴールにたどり着くようにタスクを完成してください”という指示を与えた。行動者には“常に相手(指示者)に向けて、相手のジェスチャに従って移動してください”と伝えた。

実験は 2006 年 5 月に行った。実験参加者は日本人大学生 20 人(平均年齢 21.2 歳,男女各 10 名)を二人(友達同士)一組のペアにした計 10 組である。実験参加者の一人を指示者、もう一人を行動者と指定し、先に指示者を実験室内に誘導した。その後、指示者のみに課題を説明し、センサー類を装着させた。課題は計算機画面上に表示される地図(全部で三つの難易度:易しい,普通,難しい地図)を 3 回の試行で遂行させた。課題提示後、行動者を実験室内に誘導し、行動者に教示を与えて、実験を開始した。全ての地図は同じ軌道を 5 周回るタスクで、一試行の制限時間は 8 分間とする。毎試行終了後、数分間の休憩をとる。休憩時には、教示者と行動者が実験内容について議論することはできないように、行動者と教示者を別室に配置した。実験は全部終了した後、二人にアンケートに回答させた上、

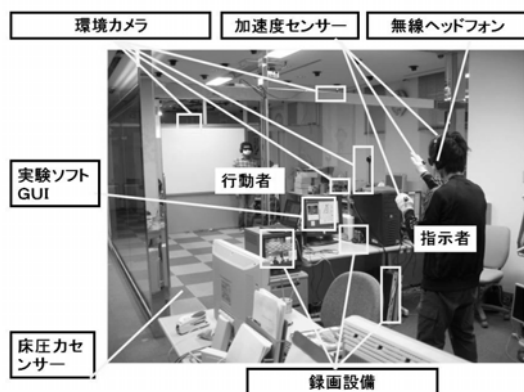


図 1 実験環境図

行動者に最後の試行を記憶に基づいて地図を描くことを要求した。

指示者と行動者ともマスク,サングラスと無線ヘッドフォンを着用させた。指示者の手と頭のジェスチャは指示者の両手とヘッドフォンの頭頂部に装着した 3 個の 3D モーションセンサー(MDP-A3U9S 加速度センサー)を通して、行動者の移動軌跡は床圧センサーを通して、全てのセンサーデータは同期され、実験用PCに記録された。実験結果のビデオ分析用に、指示者の正面映像,行動者の前方映像と後方映像,そして実験用制御ソフトのGUI映像及び効果音(正解音,地雷爆発音,開始終了の提示音声)は合成されてビデオに録画された。

3.3 実験結果

実験結果のデータは 30 試行(合計 164 分間)のビデオ録画データ(効果音を含む)と同期されたモーションセンサーと床圧力センサーのログデータである。

ビデオデータはアノテーションツール ANVIL を使い,ビデオ映像に指示者のジェスチャと行動者の動作などのアノテーションを加え,動作分類を行った。ジェスチャは指差し,止まる,方向,速度,強化,調整,抽象,持続,未分類(Pointing, Stops, Direction, Speed, Reinforcement, Adjustment, Abstract, Keep, Unknown)合計九種類に分類した。各種ジェスチャの典型的な統計量は図 2 に示した。「止まる」と「方向」ジェスチャが一番大きな割合を占めて、「止まる」と「方向」ジェスチャが道案内タスクにおいて、重要な役割を果たしていることが分かった。また、「止まる」ジェスチャと「方向」ジェスチャの利用率の個人差はもっとも大きいことも分かった。

「止まる」と「方向」ジェスチャの次に多いのは「強化」ジェスチャと「抽象」ジェスチャである。「強化」ジェスチャとは頷き,首のかしげるなどのYes/Noなどの報酬を与えるジェスチャであり、「抽象」ジェスチャとは「地雷回る」(左手を地雷とイメージする同時に右手が左手の周辺をぐるぐる回るジェスチャ),「一歩」(一差指 1 本),「2 歩」(人差し指 2 本),「ちょっと」(人差し指と中指が少し離れる)などのジェスチャを指す。

3.4 分析

ビデオデータはアノテーションツールANVIL[Kipp 2004]を用いて分析した。結果として各種類のジェスチャの利用回数と典型的な統計量(最大値,最小値,中間値など)は図 2 に示した。図から、止まると方向ジェスチャは全部 9 種類のジェスチャ

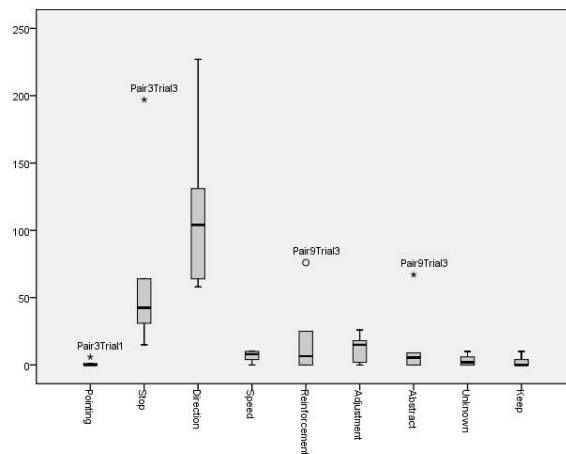


図 2 各種類ジェスチャ利用回数の統計量

の中で、最大の割合を占めていることが分かった。これの原因として、方向指示タスクにおいて、同調(アライメント)をベースとした指示-行動のペアから形成されたプロトコルは重要な役割を果たしている。ここでのアライメント(alignment)とは、指示者がジェスチャ指示を出せば、行動者は行動する。指示者がジェスチャ指示を止まれば、行動者も動作を止める現象である。

全体的には、初期段階で多くのジェスチャ種類を使い、タスクの進行に伴いジェスチャの種類は減っていく傾向が見られた。以下は、10組30試行のデータからいくつかの典型例を上げてプロトコルの生成過程を紹介する。

コミュニケーションプロトコルの典型例として「地雷回り」指示の成功ペア(ペア1)、動き続ける(keep going)ジェスチャの成功ペア(ペア9)のがあるとして動き続ける(keep going)ジェスチャの失敗例(ペア3)を紹介する。

ペア1とペア3のジェスチャ種類の周回毎の変化は図3に示した。一見両方ともジェスチャは最終回で二種類(止まると方向ジェスチャ)まで減少したが、詳しく分析すれば、それぞれのプロトコルの生成過程は異なる。

まず、ペア1の「地雷回り」ジェスチャを紹介する。ペア1の指示者は1周目で使った「地雷回り」ジェスチャは、抽象的なジェスチャであり、左手を地雷のイメージとして目の高さまで上げて、右手は左手を回して指示する。行動者として、その「地雷回り」ジェスチャの直前に使った「止まる」ジェスチャと「地雷回り」ジェスチャの後にくる左-前-右-後ろと連続して移動方向を変更するジェスチャをまとめて認識しているように見える。行動者として、「地雷回り」ジェスチャを「これから回る行動が始まる」という意味で捉えて、「回る合図」ジェスチャに変わった。それに対し、指示者側も行動者の反応動作から行動者の理解度を分かった。指示者は同調ベースの基本プロトコルの上に、抽象的な「地雷回り」プロトコルを生成しようとしている。これに対し、行動者は正しく移動できたが、「地雷回り」指示をみた後の反応は次の方向変換ジェスチャを待つことになる。ここで行動者の連続して歩く動作は行動者の指示に対する理解を示していると考えられる。行動者は自分の元のプロトコル空間を拡張したので、指示者も併せて、自分のプロトコル空間を拡張した。このように、第1周目から第4周目まで、指示者は行動者の現在位置を確認し、地雷のある場所にくる直前に、回る合図として「地雷回り」ジェスチャを使った。指示者と行動者は両方とも相手の状態、(指示者の)ジェスチャまたは(行動者の)行動に対する理解度を示したので、協動的にコミュニケーションプロトコルを構築できた。第5周目には、行動者はこれまでの経験から確信度を上げたためか、「地雷回り」ジェスチャが来る前に、自信満々に速く歩き出したが、結局パー

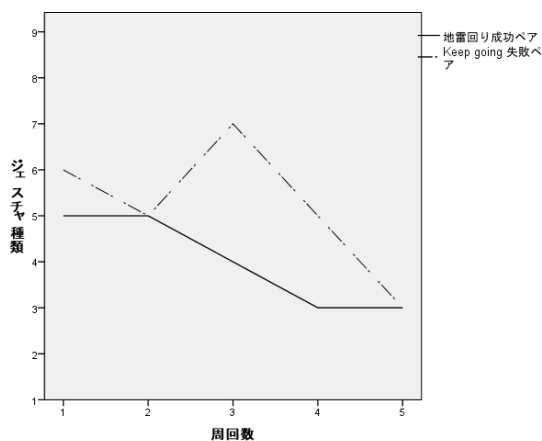


図3 ペア1とペア3のジェスチャ種類変化の比較

シャル空間中の地雷対象を爆発させてしまう(床上の地雷の位置を踏んでしまう)。このために、指示者はすでに地雷は踏まれたので、回る合図としての「地雷回り」ジェスチャを使う必要はなくなり、直接連続方向変換のジェスチャ系列を使った。このペアのジェスチャ種類の周回毎の時系列変化は図4に示した。

第2番目の成功例は「動き続ける(Keep Going)」ジェスチャの生成である。ペア3とペア9ともそのジェスチャを使ったが、ペア3の場合、指示者は完全に主導権を握っていて、行動者は「動き続ける(Keep Going)」ジェスチャに従い、動いたにもかかわらず、指示者は相手の行動を無視し、自分の意図を伝えることに集中し、いろいろな複雑なジェスチャの試行錯誤をした。この例の場合、最初は両者間に同調ベースのプロトコルは確立されたが、指示者が相手から自分の指示に適応した合図を無視し、試行錯誤を続行した。同じペア3の指示者は他の種類の「動き続ける(Keep Going)」ジェスチャも試したが、やはり失敗した。今回、ペア3の指示者は左拳の開閉ジェスチャと右手の方向ジェスチャを組み合わせ、止まる・動き続ける(Keep Going)のプロトコル構築しようという試みをしたが、行動者は理解できなかったため、数回を試した後、諦めて、プロトコルとして定着出来なかった。このペアのジェスチャの種類の時系列変化は図5に示した。

一方で、ペア9の指示者は右手の動くジェスチャの後に、動きを止めても、行動者は動き続けた、つまり、ジェスチャの一時的な止まるを「動き続ける(Keep Going)」として解釈されたので、行動者の反応を見て、指示者はその後も、同じジェスチャを使い、「動き続ける(Keep going)」プロトコルは定着したと言えよう。このペアはKeep Goingで成功したが、指示の仕方が歩数を指定する「一步」「二歩」のジェスチャ、方向ジェスチャ、そして確認のための傾きで、指示をしているので、指示の仕方として効率は低いためか、8分間に4周しか回らなかった。

まとめてみると、本研究で取り扱っている方向指示ジェスチャでの道案内タスクにおいて、同調(アライメント)ベースのプロトコルは土台的なプロトコルとして使われ、その上に、高い抽象度のプロトコルを構築したい場合、指示者は指示を変えて行動者の行動の変化を誘発するか、あるいは、行動者は積極的に行動を変化し、指示者の指示の仕方を変えることか、どちらかの方法で指示者と行動者の間に合意を形成し、プロトコルを生成していく。どちらか一方は相手の変化に気づかず、あるいは正しく対応出来なければ、プロトコルが生成出来ず、一時に生成されてもプロトコルは壊れて定着出来ないことは観察された。従って、指示者と行動者はお互いに相手に適応することはコミュニケーションプロトコルの生成に重要であることは考えられる。

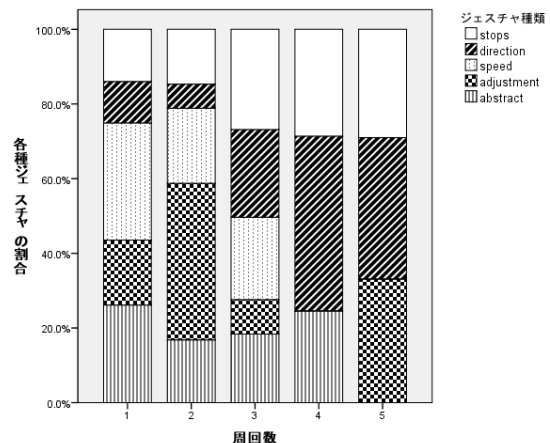


図4 地雷回り成功ペアのジェスチャ種類の変化

4. 考察

4.1 問題点と改善策

本論文ではジェスチャ指示を中心に、ジェスチャによるコミュニケーションから、原初的なコミュニケーションプロトコルの生成は観察された。人同士の実験では、まだいくつかの問題点が存在している。

- ジェスチャの種類
 - 今の設定では、行動者は将来的にロボットで実装することを考慮したので、行動者はジェスチャを使うことを禁じたが、人同士のジェスチャコミュニケーションだけを研究すれば、行動者側もジェスチャを使うことを許したら、もっと多くのコミュニケーションのプロトコルが生成されるかもしれない。
 - ジェスチャの個人差はかなり大きく、タスク依存性もあり、例えば、地雷回りジェスチャは地雷回りのないタスクでは生まれないはず。
- 時間
 - 今回の実験は8分間の制限時間と5周回るタスクを設定したので、時間が短いことはいくつか生成されたコミュニケーションプロトコルは定着出来なかった理由の一つであろう。
- 実験参加者
 - 今回の実験では、10組の実験参加者の30試行のデータを集めたが、実験の教示で行動者側には指示者のジェスチャに従って移動するように教示したので、しかも行動者にとってバーチャル世界中の地雷、信号、正解のチェックポイントなどは床上での対応位置は見えないので、指示者のジェスチャ指示に頼るしかない状況になる。従って、行動者は積極的行動するより、指示者の指示を待つことの方が今のタスクにとって最適な行動になると考えられる。
 - 同調(アラインメント)ベースの行動はプロトコルの土台にはなるが、その上に新しいプロトコルを構築するために、指示者と行動者の両方とも相手の指示・行動から相手の意図を正確に理解しなければならない。どちら一方だけプロトコルを拡張しようとしても、相手はついて来なければ、新プロトコルは生成できない。

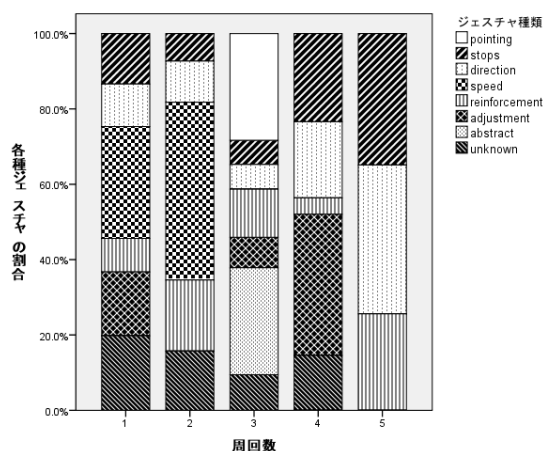


図5 Keep Going 失敗ペアのジェスチャ種類の変化

い。

4.2 今後の展開

2, 3節で述べた三段階の研究手法の第二段階では、人とロボットの WOZ 実験を行うことにした。[Xu 2007b]では、これについて詳しく述べた。第3段階では、[Xu 2007c]の中で述べた人からロボットに適応する実験の結果は、人と相互適応できるロボットの実装にも参考になると考えられる。

5. 結論

本研究は、三段階の研究手法を用い、人同士のコミュニケーション観察実験、人とロボットの WOZ 実験、人と適応型ロボットの実験という三つの段階から構成している。本論文では、第一段階において、人同士のジェスチャによる協力的な道案内タスクを用い、人同士の非言語コミュニケーションの過程で、典型例を用い、原初的なコミュニケーションプロトコルの生成過程を紹介した。

参考文献

- [鯨岡 1997] 鯨岡 峻: 原初的コミュニケーションの諸相, ミネルヴァ書房, pp. 163, 1997.
- [McNeill 2005] McNeill D.: Gesture and thought, the University of Chicago Press, 2005.
- [林 1988] 林 進: コミュニケーション論, 有斐閣, 1988.
- [細馬 2004] 細馬 宏通: 身体を示しあう会話-自分の身体で相手の身体を語ること-, 社会言語学会大会第 14 会大会論文集, pp.67-70,2004.
- [植田 2006] 植田 一博: 相互適応学習-HAI における時間的要因, 人工知能学会誌, 21 巻 6 号, pp.675-680,2006.
- [Komatsu 2005] Komatsu T., Utsunomiya A., Suzuki K., Ueda K., Hiraki K. and Oka N. (2005). Experiments Toward a Mutual Adaptive Speech Interface That Adopts the Cognitive Features Humans Use for Communication and Induces and Exploits Users' Adaptations, International Journal of Human-Computer Interaction, Vol. 18, No. 3, Pages 243-268, 2005
- [Kipp 2004] Kipp M., Gesture Generation by Imitation—From Human Behavior to Computer Character Animation, Boca Raton, Florida: Dissertation.com, 2004.
- [Xu 2007a] Xu Y., Ueda K., Komatsu T., Okadome T., Hattori T., Sumi Y. and Nishida T., WOZ Experiments for Understanding Mutual Adaptation, Journal of AI&Society, DOI: 10.1007/s00146-007-0134-1, July, 2007.
- [Xu 2007b] Xu Y., Takeda S. and Nishida T., A WOZ Environment for Studying Mutual Adaptive Behaviors in Gesture-based Human-robot Interaction, AAI 2007, Human Implications of Human-Robot Interaction workshop, Vancouver, Canada, Technical Report WS-07-07, pp 40-46, 2007.
- [Xu 2007c] Xu Y., Guillemot M. and Nishida T., An Experiment Study of Gesture-Based Human-Robot Interface, IEEE/ICME International Conference on Complex Medical Engineering-CME2007, pp 458-464, 2007.