

隠された関係性: 連続的な身体動作情報による関係の推定

Hidden Relationship: Extrapolating the Relationship from Sequential Embodied Motion Data

小川 浩平
Kohei Ogawa

中田 瑞樹
Mizuki Nakata

小野 哲雄
Tetsuo Ono

公立はこだて未来大学
Future University - Hakodate

We propose a Design Method based on Indefinite Relation (DMIR), which is for an achievement of new interactive system design. DMIR is a concept that is considering about a hidden relationship within human motion in two persons communication. We believed that a new interactive system design is achieved by DMIR. In this paper, we carried out basic experiments to verify a validity of the DMIR. In the experiment, we investigated whether the subjects are able to extrapolate the relationship from embodied motion data. The result of the experiments supported our hypothesis.

1. はじめに

近年、コンピュータやロボットの技術が発達し、これらは我々の日常生活に深く浸透しつつある。それにもない我々はこれらを個々の生活環境に合った使い方ができるようになってきた。しかし人間と機械との対話に関する技術は、大きく進歩しておらず、人間が機械に合わせている場合が多い。そのため、今後より自然なインタラクティブシステムとしての機械やエージェントをデザインすることが必要とされている。事実、人間と機械との自然な対話を目標とした研究は数多く行われており、コンピュータサイエンスにおいて、大きな潮流の1つになっている。しかし、この流れの中で開発された多くのシステムにおいて、自然な対話が実現されている例は非常に少ない。これは、対話の対象である人間の文脈情報の取得・理解が、現在のコンピュータ技術では困難であるためであると考えられる。例えば、エージェントが人間に話しかけようとする場面において、現在その人間が何をしているのか、考え事をしているのかなど、推定可能なパターンは無限大に存在する。このような、状況の背景にある文脈情報をコンピュータが理解することは事実上不可能であり、これは一般的にフレーム問題と呼ばれている[Russell 02]。

人間同士の対面におけるコミュニケーションには、様々なモダリティが存在する。例えば、言語に代表される記号的な情報や、表情や動きによる非言語的な情報が代表的なものである。その中でも、非言語的な情報は人間同士のコミュニケーションの65~70%を占めると言われており[Birdwhistell 70]、機械との自然な対話の実現には必要不可欠な情報であるということがいえる。例えば、ソニーCSLのTalkman[Nagao 94]は、インタフェースとして擬人化した顔を用い、その表情を変化させることにより対話における心理的抵抗感を軽減することに成功した。つまり、擬人化したエージェントに非言語的な情報を組み合わせることは、機械との対話において有効であることが分かる。しかしながら、Talkmanもやはり文脈情報を理解することはできず、限定された条件下でなければ動作しない。これを自然な対話であるとはいえず、対話におけるモダリティの組み合わせだけでは足りないということがいえる。

我々が人間同士でコミュニケーションを行っている状況を考えてみると、文脈は一定でないということが経験的に理解できる。例えば昨日まで仲が良かった友達と、ある一言が原因で気まず

くなったといった出来事は日常に溢れている。つまり、文脈は一定ではなく間断なく変化しているということがいえる。この事から我々は、文脈は理解するものではなく、対話する2者の中で創りあげて(共創)いくものであると捉えた。このアプローチにより、新しいインタラクティブシステムのデザインの枠組みを提案する事ができるのではないかと考える。

我々は本研究において、会話に含まれる非言語的な情報の一つである身体的動作情報を考慮することで、お互いに文脈を共創していくインタラクティブシステムのデザインが可能になるのではないかと考える。Johansson[Johansson 73]は、歩いている人間の主要な関節に電球を装着し、そのポイントライトだけが見える映像を作成したのち、その映像を観察している被験者の反応を分析するという実験を行った。その結果、ポイントライトが動作していない時は単なるライトの集合としか認知されなかったが、動作し始めた途端にそれが人の歩行動作であると認知されたということである。Johanssonは、このような、生物の知覚をもたらす運動情報の事をバイオリジカルモーションと呼んだ。また、石井ら[石井 05]は演技者に怒りや悲しみなどの演技をしてもらい、そこから作成したバイオリジカルモーションを被験者に提示する事により、モーションデータからの感情推定が可能である事を示した。これらの研究から、人間は動きのあるものに対して敏感に反応し、それを認知する能力に優れているということが出来る。また、そこから感情などの普段は裏に隠れて目に見ることのできない様々な情報を推定することが可能であるといえる。

我々は本稿において、人間とその対象との対話における身体動作が、両者の関係を表象しているという事を、「隠された関係」という言葉で捉え、この事を第2章において詳述する。また、人間とインタラクティブシステムが共創関係を築くためのデザイン手法であるDesign Method based on Indefinite Relation(DMIR)を提案する。DMIRはモーションに対する人間の高い認知能力を利用することにより、共創関係を築くことを可能にする。また、DMIRの妥当性を検証するためにモーションキャプチャシステムを用いた心理実験を実施した。

2. 隠された関係

我々は、対話における身体動作に両者の関係を推定することができる情報が含まれていると考える。なぜなら、人間は動きのあるものに対して高い認知的能力があり、また純粋なモーションデータであるポイントライトの動きから、演技者の感情を推定することができる程度可能である事が、先行研究により示されてい

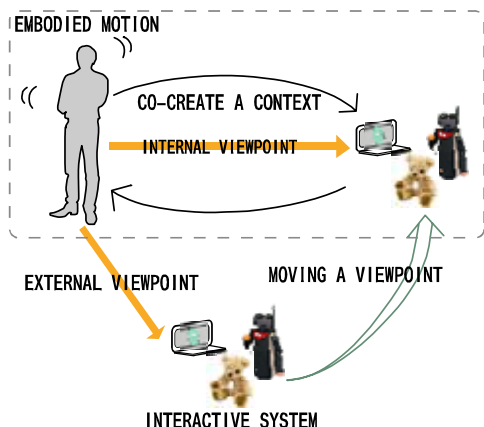


図 1. DMIR のコンセプト図

るからである。しかし、石井らの研究では刺激となったモーションデータを演技によって作成しているため、そのモーションデータに妥当性を確認することができない。またその身体動作は対話によるものではないため、両者の関係を推定することのできる情報ではないといえる。我々は、人間と対象物との対話によって生起する身体的動作には、円滑な対話を実現するために必要な、重要な情報が隠されていると考える。このことを今後「隠された関係」と呼ぶことにする。

小野ら[小野 01]は道案内におけるロボットと人間との協調動作が、意思伝達を円滑にすることを発見した。例えば、人間が進行方向を右手で指すと、ロボットも同じ方向を指すといった単純な動作で、人間とロボットとの間に関係を構築することができ、人間側の道案内における認知的負担が減少したことなどを報告している。また、人間同士のコミュニケーションにおいても身体的な引き込み動作は必ずといっていい程起こっていることから、円滑な対話の実現において相手の身体的動作は非常に重要であるといえる。以上の理由から、我々は対話における身体的動作には重要な情報が隠されていると考える。そして、その中でも相手と自分との心理的な距離感や関係性を見いだすことは、円滑なコミュニケーションを実現するための第一歩であるのではないかと考える。我々は、この隠された関係を考慮することにより、新しいインタラクティブシステムの枠組みを提案できると考える。

3. DMIR

人間が既存のインタラクティブシステムと対話をするとき、人間の視点は、問題なく動作するだろうかとか、これを使って怪我をしないだろうかなど、どこか一步引いた状況であることが多い。このように、人間がインタラクティブシステムに対して第3者的な視点を持ってしまうのは、文脈の共創関係が両者の間で築くことができているためであると我々は考える。DMIRの目的は、対話における身体的動作に隠された関係を考慮することにより両者の間に共創関係を築き、インタラクティブシステムに対する人間の視点を第3者的視点から、第2者的視点へ移行させることである(図1)。第2者的視点とは、人間同士のコミュニケーションの様に、お互いに対話に没入している状態を指す。インタラクティブシステムに対して、第2者的視点を持つことができた場合、両者は文脈の共創関係にあるということができ、これにより円滑な対話を実現することができるのではないかと考える。この際問題になることは、インタラクティブシステムと人間との関係である。我々は人間同士のような微妙な距離感をインタラクティブシステムが掴むことができなければ、共創関係を両者の間に築くことが

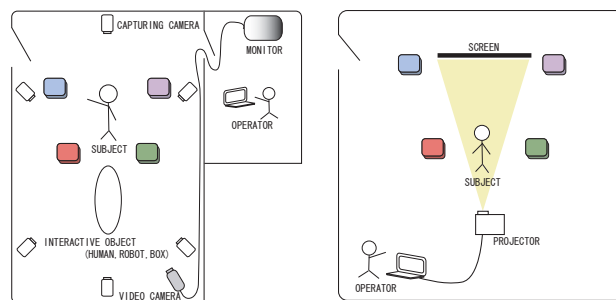


図 2. 実験環境(左: 第1実験, 右: 第2実験)

できないと考える。そのため、DMIRの実現には対話における身体的動作に隠された関係を利用することが必要であると考え、それにより目的を達成できるのではないかと考える。本研究では、今回提案したDMIRの実現のための基礎実験を実施した。これにより、DMIRの妥当性を確認する事ができると考える。

4. 刺激作成のための実験

本実験は、被験者と対象との対話における身体的動作のデータを得る為に実施された。本実験では、各条件間において人間と対象物との間にそれぞれ違う段階の関係を構築し、その対話における被験者の身体動作をモーションキャプチャシステムによって取得した。ここでいう段階とは、違和感のない関係が築けたかどうかの段階を意味している。我々は今回、この違和感の段階を共同注意によって生み出した。今井らによると、ロボットが被験者と目を合わせたあとに指さしを行うと、共同注意が成功するのに対し、目を合わせずに共同注意を行うと、共同注意が成功しない事を実験によって示している[Imai 03]。今回この現象を利用することにより、被験者と対象物との間の関係の度合いを判断させることにした。さらに、本物の人間とただの木の箱を実験条件に加えることにより、顕著な段階をつけることにした。また実験後の被験者の対象物に対する印象評価により、今回作成する刺激の妥当性を示す。

4.1 実験方法

モーションキャプチャシステムが設置されている実験室にて、共同注意を利用した実験を行う。被験者は、対象物(人間, ロボット, 木の箱)と対話をする中で、タスクとしての共同注意を行ってもらった。共同注意を行う対象として三色の箱を用い、対話を行う対象物が被験者に対し「～色の箱はどこ?」と発話する。その際、対象物の動作や視線、様相等により両者の関係に段階を付ける。

実験環境

本実験は、公立はこだて未来大学内のメディアラボによって実施された。図2左に実験環境の図を示す。被験者には、体の主要な部分に37点の反射マーカを付ける。また、控え室においてマーカの取り付け及び、質問紙による評価を行った。

実験条件

被験者と対象物との間の関係に段階を付けるために、対象物を以下の5つとし、5条件を設けた。

- Hm (Human)
 - 普通の対話と同じように動く人間
- Rc (Robot constructing relationship)
 - 被験者と目を合わせ、共同注意を成功させることができるロボット

表 1. 質問紙による主観評価の分析結果(**: 有意差, *: 有意傾向, n.s.: 有意な差がない)

	Q1-1	Q1-2	Q1-3	Q2-1	Q2-2	Q2-3	Q2-4
Hm	3.75(1.16)	4.5(1.41)	2.88(1.25)	3.50(1.30)	4.00(0.93)	4.88(0.35)	4.13(1.13)
Rc	3.67(0.87)	4.56(1.01)	3.89(0.93)	4.89(0.33)	4.33(1.00)	4.44(1.13)	3.00(1.50)
Rnc	1.90(1.19)	1.30(0.67)	3.90(1.20)	3.60(1.43)	1.7(1.06)	1.50(0.97)	4.10(0.88)
Rwm	2.00(1.24)	2.50(1.58)	2.00(1.33)	3.60(1.43)	4.2(1.03)	4.20(1.48)	3.10(1.29)
Bx	2.00(0.93)	3.38(1.41)	3.00(0.93)	2.88(1.36)	3.75(1.28)	3.50(1.30)	3.75(0.70)
分散分析 (F(4,40))	F=6.65 p<.001(**)	F=11.73 p<.001(**)	F=4.66 p=.003(**)	F=2.99 p=.30(*)	F=10.16 p<.001(**)	F=13.11 p<.001(**)	F=2.04 p=.10(n.s.)
多重比較	H,R1>R2,R3,B	H,R1>R2,R3	R1,R2>R3	R1>R2,R3,B	H,R1>R2	H,R1>R2,B	



図 3. 実験の様子

Rnc (Robot not-constructing relationship)

- 被験者と目を合わせることなく、共同注意を成功させる事ができないロボット

Rwm (Robot without body movement)

- 動かないロボット

Bx (Box: 木の箱)

- 木でできた箱

また、すべて条件において、対象物は同じ台詞を発話し、Hm 条件以外はすべて同じ声を使用している。

被験者

公立はこだて未来大学の学生 53 名を対象に実験を行った。実験に有効なデータ 45 名の各条件の内訳は Hm が 8 名, Rc が 9 名, Rnc が 10 名, Rwm が 10 名, Bx が 8 名である。また、各条件への被験者の配分はランダムに行った。

4.2 実験手続き

実験手順は以下の通りである。

1. ゲストルームにて被験者にマーカーを取り付ける。
2. 実験室に案内し、「人間(ロボット, 箱)と対話してもらいます。対話相手がありがとうと言ったら実験は終了ですので部屋から出てきてください。」と被験者に伝える。
3. 対象物が「こんにちは。赤い箱はどこ?」と発話する。被験者が赤い箱の場所を示した後の対象物の反応が条件によって以下のように変わる。Hm, Rc 被験者とアイコンタクトをした後、赤い箱を指差して「それ?」「わかった。」と発話する。Rnc 被験者とアイコンタクトはせず、赤い箱以外の箱を指差して「それ?」と発話する。違うという指摘を受けたあと「違うの?」と発話し、もう一度別の間違った箱を指差して「それ?」「わかった。」と発話する。Rwm, Bx 被験者とのアイコンタクトも指差しもせずに動かないまま「それ?」「わかった。」と発話する。
4. 同じ要領で緑と青の箱の場所を示してもらう。
5. 対象物が「わかった、ありがとう。」と発話し、実験を終了する。
6. 実験終了後、アンケートに答えてもらう。

4.3 評価方法

以下の 3 評定項目によって対象物の動作の妥当性を評価する。

Q1-1 相手の視線を感じたか?

Q1-2 相手が自分と同じ方向を指差したと感じたか?

Q1-3 相手の視線が箱に向いていたと感じたか?

以下の 5 評定項目によって対話における関係の段階を評価する。

Q2-1 相手の意図・行動を理解できたか?

Q2-2 相手に自分の意図・行動を理解してもらえたか?

Q2-3 相手に箱の位置を伝えるのが難しかったか?

Q2-4 対話に違和感を感じたか?

Q2-5 対話をスムーズにおこなえたか?

今回すべての質問に対して最も低い評価を 1, 最も高い評価を 5 とした 5 段階で評価してもらった。また、Q1-1 から Q1-3 を Q1 群, Q2-1 から Q2-5 を Q2 群とする。

4.4 実験の仮説と予測

仮説 被験者は、対象と自分との間に築かれた関係の度合いを判断することができる。

予測 印象評価から、評価値が Hm>Rc>Rnc>Rwm>Bx となる。

4.5 結果

各質問項目について分散分析を行った結果を表 1 に示す。Q2-4 以外の全ての項目で有意差が見られた。さらに LSD 法による多重比較の結果、アイコンタクトが行われた Hm, Rc 条件と、アイコンタクトが行われなかった Rnc, Rwm, Bx 条件間において有意な差が確認された。

これらの結果から、アイコンタクトの有無によって関係の段階を作為的に作ることの妥当性が検証されたと考える。またこの実験で、妥当性のある対話における身体的動作情報を取得することができたと考える。

5. 評価実験

予備実験により作成したモーションデータから、各条件間における関係の段階を被験者が推定する事ができるかどうかを確かめるための評価実験を行った。モーションデータは、予備実験の際に 37 点だった点の数を 18 点まで減らし、人間だと判断するのに必要だと思われる最低限の箇所のみを残した。また今回被験者に対し、できるだけ対話の当事者であると感じさせるため、実験環境を予備実験と同じ状況にし、モーションデータをプロジェクトによって等身大に投影した。

5.1 実験方法

実験室において、5 条件の投影されたモーションデータを被験者に提示し、違和感がなく自然な対話だと感じる順序に各条件を並び替えてもらった(図 4)。また、形容詞対によって各条件間における印象を評価した。

表 2. 被験者ごとの相関係数

被験者	相関係数
1	0.899
2	0.899
3	0.700
4	0.700
5	0.700
6	0.600
7	0.500
8	0.300
9	0.300
10	0.300
11	0.099
12	-0.199

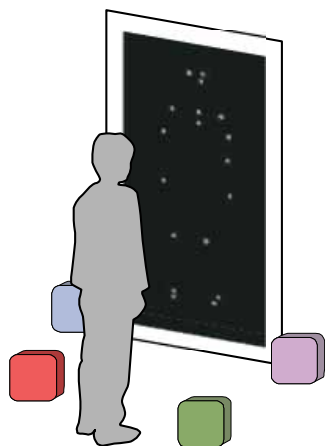


図 4. 評価実験イメージ図

実験環境

本実験は、予備実験と同様に公立はこだて未来大学大学研究棟のメディアラボにて行われた。予備実験と同じ環境にするため、図 2 右に示すようにモーションデータを映し出すスクリーンやプロジェクタの他に赤・青・緑・紫の箱を配置した。

被験者

公立はこだて未来大学の学生 12 名(男性 6 名, 女性 6 名)を対象に実験を行った。

5.2 実験手続き

実験手順は以下の通りである。

1. 「これからこの部屋と同じ状況で対話実験をおこなった際の被験者のモーションデータがスクリーンに映し出されます。対話の内容は被験者が指示された色の箱の場所を教えるというものです。これから 5 種類のデータを見ていただき、それぞれに対する印象評価をしていただきます。」と被験者に伝える。
2. 被験者をスクリーンの前に立たせる。
3. 5 条件(Hm,Rc,Rnc,Rwm,Bx) のうちのある条件の刺激を等身に映し出し、見てもらった後にアンケートに答えてもらう。このとき、見せる刺激の順序はカウンターバランスをとった。
4. 同様の手順で 5 条件すべてのモーションデータに対してアンケート(印象評価)に答えてもらう。
5. 5 条件の刺激をもう一度同じ順序で見せ、その順序に対応させた番号札を左側から自然な対話だと感じる順序に並び替えてもらう。ひとつのモーションデータを見せるごとに番号札を適当な場所に置いてもらった。

5.3 評価方法

関係の段階の判断を確認するために 5 条件の刺激を違和感がなく、自然な対話だと感じる順序に並び替えてもらった。

5.4 実験の仮説と予測

仮説 対話における人間側のモーションデータから、対話時の 2 者の関係の段階を推定することができる。

予測 提示したモーションデータの並び替えによって得られる順序と、実験者側が想定する順序, Hm,Rc,Rnc,Rwm,Bx, に正の順位相関が見られる。

5.5 結果

各被験者に対して並び替えてもらった順序と実験者側が想定する順序, Hm, Rc, Rnc, Rwm, Bx, とを比較するためにスピアマンの順位相関係数を算出した。その結果を表 2 に示す。結

果として 12 人中 5 人について正解の順序と被験者が示した順序に強い正の相関関係($0.7 < r < 1.0$) が, 2 人について中程度の正の相関関係($0.4 < r < 0.7$) が, 3 人について弱い正の相関関係($0.2 < r < 0.4$) があることが確認された。

6. 考察と結論

以上の結果から、人間は対話における身体的動作に隠された関係のある程度正しく推定できることが分かった。我々は、対話相手と文脈の共創関係を築くためには、相手と自分との関係を推定することが必要であると先述した。そしてまた、関係を推定することを可能にする情報は、対話におけるお互いの身体的動作に隠されていると述べた。本実験の結果は、この仮説を支持するものであり、身体的動作情報の可能性を明らかにできたと考える。また、DMIR の妥当性も確認することができ、今後 DMIR を考慮した今までにない新しいインタラクティブシステムのパラダイムを提案することができるのではないかと考える。例えば、今まで難しかった継続的なインタラクションによるユーザ独自のカスタマイズ性を重視したインタラクティブシステムや、それにより生起する愛着を柔らかいインタフェースとした、新しいサポーティングシステムが考えられる。また DMIR は、我々が提案しているメディア間を移動可能なエージェントを利用した ITACO システム[Ogawa 05]に応用する事が可能であり、今後これらのプロジェクトを平行して進行させることが可能であると考えられる。

参考文献

- [Russell 02] Stuart Russell, Peter Norvig: Artificial Intelligence – A Modern Approach, Prentice Hall, 2002.
- [Birdwhistell 70] Ray L. Birdwhistell: Kinesics and context: Essays on Body Motion Communication, University of Pennsylvania Press, 1970
- [Nagao 94] Katashi Nagao, Akikazu Takeuchi: Social interaction: Multimodal conversation with social agents., In Proceedings of the Twelfth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-94), pp. 22 - 28, The MIT Press, 1994.
- [Johansson 73] G. Johansson: Visual perception of biological motion and a model for its analysis., Perception and Psychophysics, pp.201 - 211, 1973.
- [石井 05] 石井 雅博, 丸田 英徳: バイオロジカルモーションからの感情知覚に関する研究, 電子情報通信学会技術研究報告. HIP, ヒューマン情報処理, 105 巻 165 号, pp.123 - 126, 2005.
- [小野 01] 小野 哲雄, 今井 倫太, 石黒 浩, 中津 良平: 身体表現を用いた人とロボットの共創対話, 情報処理学会論文誌, Vol. 42, No. 6, pp.1348 - 1358, 2001.
- [Imai 03] Michita Imai, Tetsuo Ono, Hiroshi Ishiguro: Physical Relation and Expression: Joint Attention for Human-Robot Interaction., IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 50, No. 4, pp. 636-643, 2003.
- [Ogawa 05] Kohei Ogawa, Tetsuo Ono: Ubiquitous Cognition: Mobile Environment Achieved by Migratable Agent, Proceedings of 7th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI05), pp. 337-338, 2005.