

視線制御によるアンドロイドの陪席者としての評価

Gaze control for an android as a bystander

横山 晋* 力石 武信* 中村 泰*
Shin Yokoyama Takenobu Chikaraishi Yutaka Nakamura
松本 吉央† 石黒 浩*
Yoshio Matsumoto Hiroshi Ishiguro

1 緒論

近年、日常生活で人間とコミュニケーションを行う様々なロボットの研究開発が行われている [1],[2]. コミュニケーションロボットの外観は人間の印象に大きな影響を与える. 人間は社会的相互作用を行う場合に対話相手を擬人化するため, 対話相手であるロボットが意志を持ったものとしての外観を持ち, 意志をもって動作しているように感じられる必要がある [3]. そのため, コミュニケーションロボットの多くは人間や動物がデフォルメされた外観をもつ. 我々は人間に酷似した外観を持つヒューマノイドロボットであるアンドロイド (Fig.1) を用い, 外観と動作に対する人間の社会的反応に関する研究を行って来た [4],[5],[6]. Shimada et al. は人間とロボットの相互作用 (コミュニケーション) において, 対話相手がアンドロイドである場合と機械的外観を持ったヒューマノイドロボットである場合を比較し, 人間の無自覚的な視線行動がアンドロイドに対しては対人状況の視線行動と似るのに対し, 後者の場合は人間と対話する場合の視線動作とは異なることを実験により示した [5]. すなわち, 人間に酷似した外観を持つアンドロイドを人間とのコミュニケーションに用いることにより, 機械的な外観を持ったロボットと比べ, より人間に対して大きな影響を与えられることが示唆されている.



Fig1 Android Robot ReplieeQ2.

Shimada et al. はアンドロイドを含む 3 者コミュニケーションにおいて, 視線行動の違いによりアンドロイドへの好悪感情を変化させることが可能であることを示した [7]. また, 我々は人間と人間のコミュニケーションに第三者としてアンドロイドを陪席させた実験を行い, 人間の表情などの非言語的動作に応じてアンドロイドの動作を選択する事で, アンドロイドが人間に対して直接発話することなしに人間のコミュニケーションへの印象を操作できる事を示した [8]. これらの研究では, アンドロイドが陪席者となって直接人間との言語による対話を行わない状況において, アンドロイドの振る舞いが人間

* 大阪大学 Osaka University

† 産業技術総合研究所 AIST

に与える影響を調査している．よって，高度な知能を必要とする言語による対話を用いず，ロボットの振る舞いがコミュニケーションに与える影響を調べる事が出来る．そこで本研究でも，この2者の人間の対話に介在する陪席者としてのアンドロイドが対話に与える影響を調査する．人間は外観と動作の落差に対して非常に敏感であるため，人間に近い外観を持つロボットであるアンドロイドが人間に近い知能を感じさせる動作を呈示しなければ，相互作用に大きな障害となると考えられる [9],[10]．そこで本研究では，人間の観察から得られた対人行動モデルによりアンドロイドの動作を生成する方法を用いる．

ロボットが人間同士のコミュニケーションに寄与し，人間に対して影響を与えるためには，会話の中で存在感が大きくなるようにロボットを振る舞わせる必要がある．会話の中で存在感を保つためには，会話に参加している印象を相手に与える必要があり，少なくとも会話内容を理解する必要があると考えられる．そこで我々は，“会話内容を理解している印象を与えることで，会話での存在感が増大する．”と考え，2者の会話に陪席するアンドロイドが会話内容を理解している印象を与えるような動作の生成法の開発を目指す．そこで，実際の人間が陪席者として人間と人間の会話に参加している場面を観察することにより視線遷移モデルを作成した．この視線遷移モデルに基づいて生成したアンドロイドの動作が人間にどのような印象を与えるかを調べるため，被験者実験により印象評価を行った．

2 陪席者としての動作生成

被験者の動作を観察した結果，会話内容を理解している印象を与える被験者の振る舞いには，視線の遷移行動に特徴が見られた．また，擬人的媒体の視線行動が人間とのコミュニケーションに影響を与えるという研究もある [11]．そこで本研究では，陪席者の視線遷移動作に注目する．

2.1 視線遷移モデルの作成

陪席するアンドロイドが他の2者の会話内容を理解している印象を形成可能な動作を生成するモデル

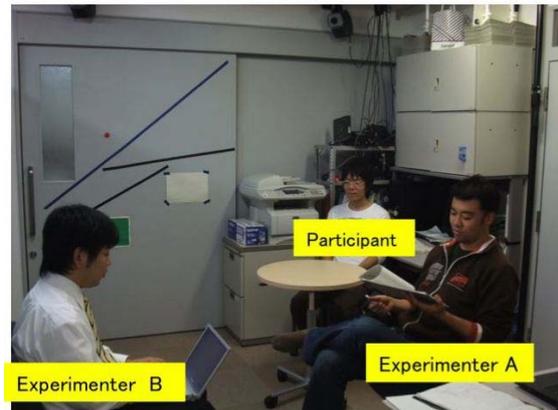


Fig2 Observational scene.

の構築を行う．まず，被験者を2人の実験者による会話に陪席させて観察を行う．被験者は Fig.2 に示すように人間と人間の会話に陪席するアンドロイドと同様の位置に座り，2人の実験者の会話を聞く．実験者 A および実験者 B は被験者の前で会話を続ける．実験者は多くの技術用語を用いることにより，被験者が会話の内容を完全には理解できないようにすることで，被験者が発言をしにくい状況を作る．しかしながら，会話の話題を被験者についてのものであることで，被験者が会話を無視することが難しくなるようにした．これは，会話に対して興味を持ち，発言することなしに会話に参加（関係）し続ける人物の動作を想定しているからである．この時の被験者の動作を，被験者から気づきにくい場所に配置されたカメラにより約5分間撮影した．

今回の実験では，複数の被験者の振る舞いから動作を生成するのではなく，実験者 A と実験者 B の会話に興味を持ち，参加をしている印象を最も強く与える被験者の振る舞いを模倣するものとし，観察した被験者のうちの一人の視線遷移動作を解析した．まず，被験者の視線方向を，実験者 A の頭部方向 ① と身体方向 ②，実験者 B の頭部方向 ③ と身体方向 ④，実験者 A と実験者 B の中間地点の頭と同じ高さ方向 ⑤，身体と同じ高さ方向 ⑥，身体より下方向 ⑦，および，それ以外の方向 ⑧ の8つに分類する (Fig. 3). Fig. 4(a) と Fig. 4(b) はそれぞれ実験者 A が発話している場合に被験者が視線を

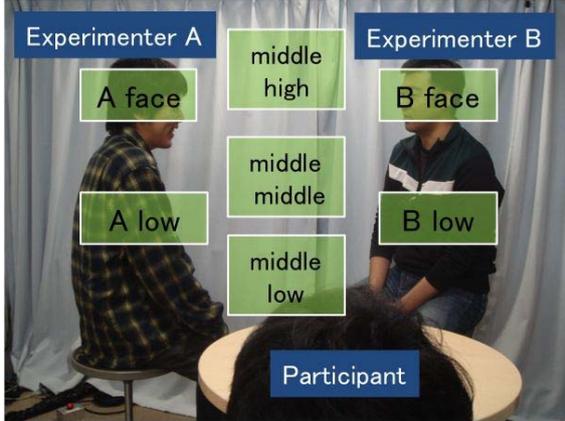


Fig3 Gaze direction of human bystander.

向けていた時間と視線を向けた回数を示している。また、Fig.5は実験者Bが発話している場合のものである。Fig. 4(a), 5(a)より、実験者A及び実験者Bの顔方向に視線を向ける時間が最も長く、全体の約60%の時間、両者の顔に視線を向けていることが分かった。またFig. 4(b), 5(b)より、実験者A及び実験者Bの顔方向に視線を向ける回数が最も多いことが分かる。よって陪席者は、時間、回数ともに、発話者の顔方向に最もよく視線を向ける傾向にあることが分かる。すなわち、被験者の視線は、頻度、停留時間共に、発話者の顔方向に向く傾向が大きい、必ずしも常に発話者の方を見る訳ではなく、その他の方向を見ている事もある。

本研究では陪席者としてのアンドロイドの視線遷移が、現在の視線方向 $G_C^{(r)}$ と現在の話者 U が与えられた下での、次の視線動作 $A_N^{(r)}$ の条件付き確率:

$$P(A_N^{(r)}|G_C^{(r)},U) \quad (1)$$

に従い決められるものとした。次の視線動作 $A_N^{(r)}$ は、次の視線方向 $G_N^{(r)}$ と視線の停留時間 T の2つの成分からなっており、 $G_N^{(r)}$ の方向に視線を遷移させた後、その方向に視線を T_{step} 停留させる動作を表す。この視線遷移確率 $P(A_N^{(r)}|G_C^{(r)},U)$ 、および次に行う視線動作 $A_N^{(r)}$ は、陪席者の観察により得られたデータから作成した。また本実験では、現在の話者 U をカメラで撮影したビデオを用いて、操作者が判断しアンドロイド制御用コンピュータに入力した。

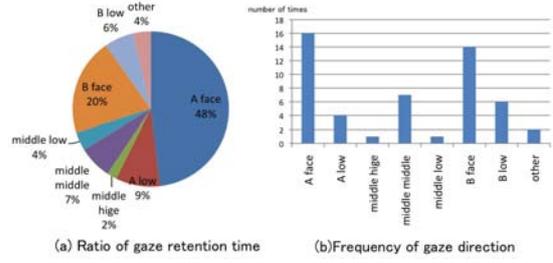


Fig4 Gaze retention and frequency (when utterer is experimenter A).

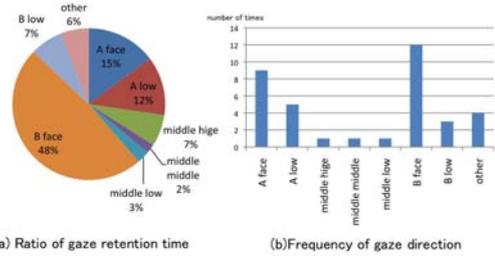


Fig5 Gaze retention and frequency (when utterer is experimenter B).

2.2 全身動作の作成

提案モデルにより次の視線動作が決定されると、アンドロイドの各自由度に対する指令値を計算する。ここでアンドロイドの視線動作を、目標の視線方向 $G_N^{(r)}$ を実現する姿勢を目標姿勢とし、現在姿勢の指令値と目標姿勢の指令値を3次補間することにより計算した軌道に従った指令値を与える事で生成する。ただし、実際の人間の眼球および頭部の動作に関しては、前庭動眼反射という生理的反射により支配されることが知られており、本稿ではCGエージェントの視線移動の動作生成法 [12] を参考に、眼球頭部動作を生成した。また、視線方向に変化がない期間は、完全に静止し不自然な印象を与える事を回避するため、Perlin ノイズ [13] を指令値に加えることで小さな動作を生成し、瞬きや呼吸といった生理的動作を表現した。

3 被験者による印象評価実験

提案手法により生成された視線遷移動作と従来手法により生成された動作の比較を行った。生成された動作を行うアンドロイドの前で、被験者は実験者

との会話を数分間行い、アンドロイドによる自分たちの会話への理解度を評価する。

3.1 実験手順および条件

被験者には「アンドロイドはある音声認識技術により、人間と人間の会話を理解して動作をします。この実験は、アンドロイドがどの程度会話を理解できるかの評価試験です」と教示した。次に、実験者は被験者と約2分間会話を行った。その会話に陪席するアンドロイドは次の3種類の動作のいずれかを行う (Fig. 6)。

視線遷移モデル動作: 提案手法により作成された視線遷移モデルに従い生成された動作である。操作者は実験者と被験者のどちらかが発話しているか (現在の話者 U) だけを判断し、コンピュータに入力する。コンピュータは視線遷移確率に基づき次の視線動作を決定し、動作を生成する。なお、瞬き、呼吸といった小さな動作は、アンドロイドの印象に大きな影響を与えるため、提案モデルにおいて目標姿勢に Perlin ノイズを加えることで、自然な印象となる様にした。

ハンドメイド動作: 事前にハンドメイドにより作成された動作である。これまでのアンドロイドの動作の多くは、ハンドメイドにより作成されている。これは、アンドロイドの動作の自然さが、人間の主観によるものであり、何が自然動作で何が自然でないかといった事に対する調査や解明が、十分になされていない事から、現時点での最も自然な動作生成手法だと考えられている。

Perlin ノイズ動作: CG による擬人化エージェントに、自然な存在感をあたえる手法として Perlin ノイズを用いる方法が知られている [13]。これは、人間動作のモデル化や観察といった過程を経ずに、簡単に人間の生理的動作を実現する方法である。

被験者は、アンドロイドが陪席する場面で実験者との会話を終えると、別室でアンドロイドがどの程度会話を理解していたかを5段階で評価する。Fig.

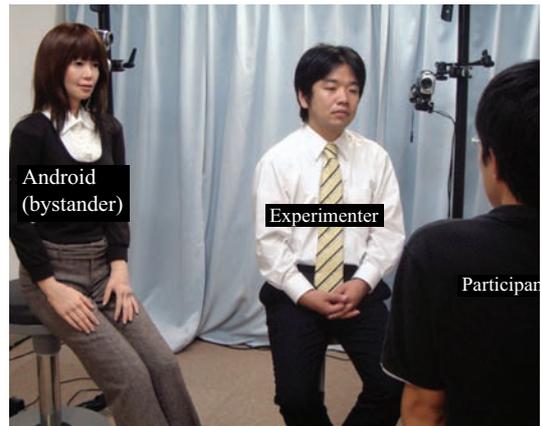


Fig6 Experimental scene: the android is by-standing the human-human communication.

Q. How much did the android understand your conversation?

Nothing understood _____ Completely understood

Fig7 Questionnaire for android's comprehension.

7にこの時に用いた質問用紙を示す。この手順をアンドロイドの動作を変えて3回繰り返す。呈示される順序による印象の変化を打ち消すために、被験者を6グループに分け、それぞれのグループにはそれぞれ別の順序でアンドロイドの動作を呈示した。被験者は22名 (19~24歳: 平均 22.1, 標準偏差 0.90) で、全員過去にアンドロイドを見た経験はない。

3.2 結果

それぞれの動作に対する被験者の回答に対して、分散分析および多重比較を行った。その結果を (Fig. 8) に示す。全ての動作間で得た点数に有意差があり、話を聞いている印象は視線遷移モデル動作、ハンドメイド動作、Perlin ノイズ動作の順に高い事がわかった。よって、視線遷移モデル動作は、従来手法による動作に比べて最も会話の内容を理解している印象を与えたことが分かる。

4 結論

本稿では、陪席者として会話の内容を理解している印象を相手に与えるアンドロイドの動作生成手法について述べた。実際に観察した人間の動作から視線遷移モデルを作成し、印象評価により視線遷移モデルによる動作が会話を理解している印象を相手に

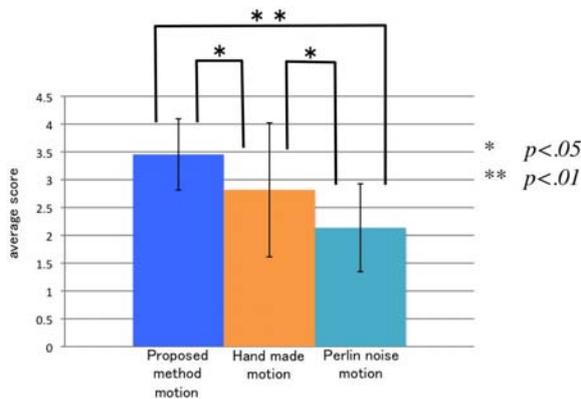


Fig8 Average score for the android's comprehension.

与えることを示した。このことから、陪席者が視線を遷移させるという行動が2者の会話を理解している印象を与える要因となることが分かる。

一方、本稿の実験では視線遷移モデルを表す条件付き確率における現在の視線方向 $G_C^{(r)}$ や現在の話者 U の必要性についての検証を行っていない。すなわち、現在の視線方向 $G_C^{(r)}$ と現在の話者 U を考慮しない確率： $P(A_N^{(r)})$ 、現在の視線方向のみに依存する確率： $P(A_N^{(r)}|G_C^{(r)})$ 、現在の話者のみに依存する確率： $P(A_N^{(r)}|U)$ に基づき、視線遷移動作を行う場合との比較を行う必要がある。また本研究では、“会話内容を理解している印象を相手に与えれば、会話での存在感が増大する。”と考えると会話の理解度について調べたが、会話内容を理解している印象が会話での存在感を増大させる事に繋がるかを検証することも今後の課題である。さらに、陪席者の外観の与える影響も興味深い課題であると考えられ、機械的な外観を持ったコミュニケーションロボットとアンドロイドでの、視線遷移動作の違いが印象形成に与える影響を比較することも今後の課題である。

参考文献

- [1] T. Kanda et al. Development of robovie as a platform for everyday-robot research. *Electronics and Communications in Japan*, 87(4), 2004.
- [2] S. Kajita. Research of biped robot and humanoid robotics project (HRP) in Japan. In *The Fourth International Conference on Machine Automation (ICMA '02)*, pages 1–8, 2002.
- [3] B. R. Duffy. Anthropomorphism and the social robot. *Robotics and Autonomous Systems*, 42(3-4):177–190, 2003.
- [4] H. Ishiguro. Android science - toward a new cross-interdisciplinary framework. In *Proceedings of the International Symposium of Robotics Research*, 2005.
- [5] M. Shimada et al. Evaluation of android using unconscious recognition. In *Proceedings of the IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, pages 157–162, 2006.
- [6] M. Noma et al. Composition and evaluation of the humanlike motions of an android. In *Proceedings of the IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, pages 163–168, 2006.
- [7] M. Shimada et al. Social balancing effect of eye contact. In *18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pages 1119–1124, Sep.-Oct. 2009.
- [8] E. Takano et al. Psychological effects on interpersonal communication by bystander android using motions based on humanlike needs. In *the Proceedings of the 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2009)*, pages 3721–3726, October 11-15 2009.
- [9] S. Yamada et al. Mutual adaptation and adaptation gap between a human and an agent (special issue HAI: New trends in human agent interaction). *Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence*, 21(6):648–653, 20061101.
- [10] M. Mori. On the uncanny valley. In *Proc. of*

the Humanoids-2005 Workshop: Views on the Uncanny Valley, 2005.

- [11] T. Yonezawa et al. Verification of Behavioral Designs for Gaze-Communicative Stuffed-Toy Robot. *The Transactions of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers D*, J92-D(1), 81-92, 2009-01-01.
- [12] S. Masuko et al. Generating head-eye movement for virtual actor. *Systems and Computers in Japan*, 37(12):33-44, 2006.
- [13] K. Perlin. Real time responsive animation with personality. *IEEE trans. Visualization and Computer Graphics*, 1(1):5-15, 1995.