

人型ロボットの視線と身体の状態からの関心の高さの推定

Estimation of Robot's Concern Base on its Gaze and Posture

中村 隼 竹内 勇剛
Shun Nakamura Yugo Takeuchi

静岡大学大学院総合科学技術研究科
Graduate School of Integrated Science and Technology, Shizuoka University

In the communication between a human and a robot, we know that distinction of the gaze to turn to the object to perceive the outside world and the gaze to express the interest in object from the robot is difficult. In this study, we make a model to estimate of the high level of interest by humanoid robot's gaze and physical state, and design the expression of the gaze of the robot. We hypothesized that strength of the intentionality of gaze and high level of posture cost have positive correlation, and we set evaluation function and simulated it. In addition, performed an evaluation experiment about this function. As a result, the possibility that consistency of the direction of the physical element influences evaluation of the strength of the intentionality of gaze was shown.

1. はじめに

人間とコミュニケーションすることのできる自律型ロボットが増えつつある。人間とロボットの相互なコミュニケーションを成立させるためには、ロボットが「意図」を表出しているように見せる工夫を施す必要がある。

これまでに、人間とロボットのコミュニケーションにおける「意図」の表出に視線を用いた研究がこれまで行われてきた [吉川 07, 北村 10, 米澤 07, 深山 02, Ito 05]。それらの研究により、人間がロボットの視線に対して「意図」を感じることが示されている。

一方、人間同士のコミュニケーションにおける視線には、外界の視覚情報が受動的に取り込まれる知覚機能と、外界に対する志向的な内部状態を能動的に表出する表出機能の2つの機能が存在する。これまでのロボットの視線に関する研究ではこの2つの機能の区別がされていなかった。そのため、人間がロボットの視線の機能を適切に判別出来ず、相互なコミュニケーションが成立しない可能性が考えられた。

ここで、視線の志向性やその裏にある対象への関心の高さは、その視線の発信者の内部状態とは別に視線の観察者によって何らかの要因に基づいて推定されているという点に注目した。この判断要因を明らかにすることで、人間が視線から関心の高さを推定し、2つの機能を適切に判別できるようなロボットの視線をデザインすることができると考えた。

そこで本研究では、他者の視線の志向性や対象への関心の高さが判断される要因を調査する。特に、視線による志向性の認知には眼球方向だけでなく頭部・胴体の方向も密接に関係していることが示唆されていることから [Perrett 94, Todorović 06, Corkum 95]、眼球・頭部・胴体からなる身体要素間の相互作用系の構造をシミュレート及び分析し、視線の志向性の認知モデルを構築することを目的とする。

1.1 視線の志向性認知要因

視線の志向性の認知に顔方向や胴体方向が関係している可能性が様々な研究により示唆されている。ただし、眼球・頭部・胴体方向の各要素が視線の志向性の認知にどれだけ寄与して

いるかという点については諸説ある。Perrettらが顔方向が身体姿勢より優先され、視線方向が顔方向より優先されるとしているのに対し [Perrett 94]、TodorovićやCorkumらは、顔方向よりも視線方向が優先されると報告している [Todorović 06, Corkum 95]。

本研究では、視線を対象に向けるための姿勢を取るためのコストが視線の志向性に関係していると仮定した。つまり、ある対象の観察者が、その対象に対して高い関心を持っていたり、その対象を見ることによる効果に期待したりしているならば、コストを費やしてでも姿勢を変化させてその方向を見ようとするだろうと考えた。

また他の研究において、ある1種類の視線に対して、その視線の送られる状況を変えることで、その視線を違った意味で認知する可能性が示唆されている [Gobel 15]。そのため、視線の志向性の認知には、眼球・頭部・胴体方向等の身体的要因の他に、その視線を送った状況や視線を送る際の動作等の文脈的要因が関わっていると考えることができる。

ただし、文脈的要因には様々な外的要因が関与しており、これらを考慮した視線の志向性認知モデルの構築は非常に難しいことが予想される。また、文脈的要因を排除し姿勢のみを判断要因とした視線の志向性認知モデルは、文脈的要因を考慮した場合の視線の志向性認知モデルの構築に対する一つの判断材料となることが期待される。よって、本研究では文脈的要因は排除し、身体的要因のみを考慮した視線の志向性の認知モデルの導出を行うこととした。

2. 志向性認知モデル構築のためのシミュレーション

視線の志向性認知モデルを構築するために、眼球/頭部/胴体からなる身体要素間の相互作用系と視線の志向性との関連性に関するシミュレーションを行った。

2.1 仮説

本研究では、視線の志向性の強さが視線を対象に向けるための姿勢コストの高さに対して正の相関を示すと仮定した。本研究における姿勢コストは、対象に視線を向けた際の眼球・頭部・胴体に向いている方向によって決定される、その姿勢を作るためにかかる身体的な負担であると定義する。この時、頭部

連絡先: 中村隼, 静岡大学大学院総合科学技術研究科, 静岡県浜松市城北三丁目 5-1, 053-478-1455, s09130.cs12507@gmail.com

方向は胴体方向を中心とした相対的な変位を示し、眼球方向も同様に頭部方向を中心とした相対的な変位を示すものとする。この仮説の元、身体要素と姿勢コストの関係を次のように考えた。

1. 眼球方向は頭部方向に従属しており、頭部方向は胴体方向に従属している。そのため各身体要素間で正面に対する同じ方向を向くコストは、胴体 > 頭部 > 眼球であると考えられる。
2. 頭部方向の変位にかかるコストは、胴体方向と同方向に変位していた場合は少なく、逆方向に変位した場合は多くなる。眼球方向と頭部方向の関係も同様と考えられる。

これらに基づき、視線の志向性の強さ（対象を見るための姿勢コスト）を導く評価関数 I を次のように求めた。なお、眼球、頭部、胴体の各部分はそれぞれ L （左方向）、 C （中央）、 R （右方向）の3方向を向くものとする。

$$I = s \cdot Dir_{body}(L|C|R) + t \cdot \{Dir_{head}(L|C|R) + Dis_{(head,body)}(L|C|R, L|C|R)\} + u \cdot \{Dir_{eye}(L|C|R) + Dis_{(eye,head)}(L|C|R, L|C|R)\}$$

s, t, u : 各身体要素の向きの生成のための係数

$Dir_{part}(x)$: 各身体要素が向いている方向

$Dis_{(part,part)}(x, y)$: 身体要素間の向きが相反していた際の補正。第1変数と第2変数が同方向を向いていた場合はコストが少なく、逆ならば大きくなる。

この式に対し、各身体要素の向きの組み合わせすべて ($3 \times 3 \times 3 = 27$ 通り) について、式内の係数を変化させてシミュレーションを行った。このシミュレーションの結果と次節で述べる評価実験の結果を照合・分析することで、視線の志向性認知モデルを導出する。

2.2 シミュレーション結果

シミュレーション結果の一部を図1から図3のグラフに示す。なお、グラフの横軸は各身体要素の向きであり、「LCR」であれば胴体は左方向、頭部は中央、眼球は右方向を向いている場合の値を示している。また、グラフの縦軸は姿勢コストの大きさを示している。図1と図2は、 $Dis_{(part,part)}$ における第1変数と第2変数が同方向だった場合の補正値を0.5、逆方向だった場合の補正値を1.0に固定した状態で、パラメータ s, t, u の値を変更したものである。また図3は、パラメータ s, t, u の値を $s = 0.5, t = 0.3, u = 0.2$ に固定した状態で、 $Dis_{(part,part)}$ における第1変数と第2変数が同方向だった場合の補正値と逆方向だった場合の補正値を変化させたものである。

全体の傾向として、胴体の動かない中央部分は姿勢コストが少なくなるため、左右よりも評価値が低くなる傾向がある。また、姿勢が左右反転した姿勢を取るためのコストは同じであると設定したため、グラフは左右対称となっている。図1より、胴体の重みを大きくすることにより、身体要素が変位している場合とそうでない場合の評価値の差が小さくなるのがわかる。特に胴体のパラメータは変化域が大きいため、シミュレーション結果にも影響を与えやすいといえる。図3からは、ねじれによる評価値への影響を小さく設定することで、ねじれが発生している場合とそうでない場合の評価値の差が顕著になることがわかる。

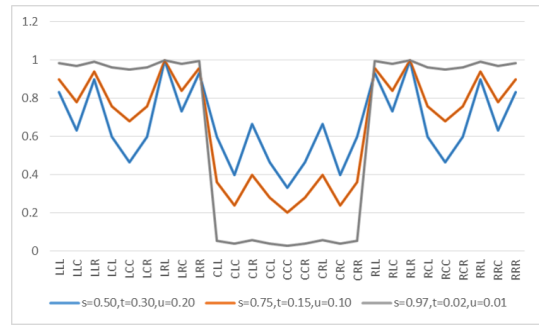


図 1: シミュレーション結果 1

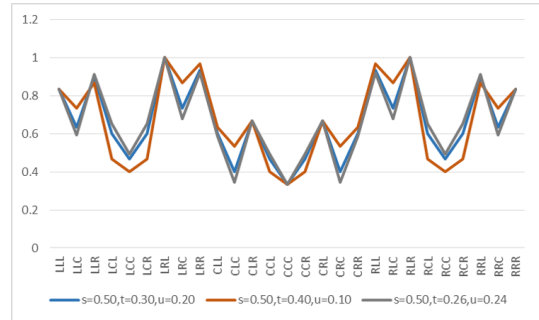


図 2: シミュレーション結果 2

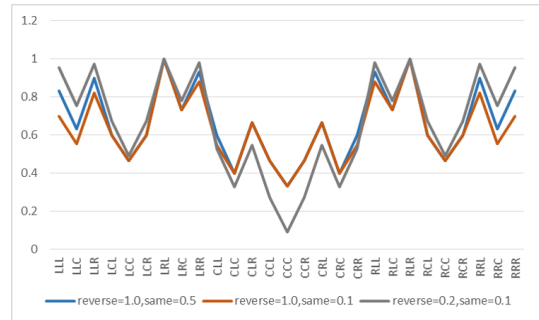


図 3: シミュレーション結果 3

3. 志向性認知モデルの妥当性の検証実験

前項で導出した評価関数 I を評価するために、ロボットの視線の志向性の強さに関する評価実験を行った。

3.1 実験システム

図5のような実験システムを用いて、実験参加者にロボットの視線の志向性の強さを評価させた。実験には、眼球・頭部・胴体の各身体要素の向きの組み合わせを表現できる人型ロボット (Robovie mR2: 図4) を用いた。ロボットは、眼球・頭部・胴体が L, C, R のいずれかを向いており、その眼球方向は参加者を指すよう設定した。

参加者はこの状態で、ロボットの視線の志向性の強さを評価した。このとき、各身体要素の変位量を一定にすることで、変位量の違いが視線の志向性認知に影響を与える可能性を排除している。なお、本実験で使用するロボットの眼球の可動範囲が ± 15 ほどであったことから、本実験においては各部の変位量を 15 に設定した。また、本実験で使用するロボットは下半身が存在しないため、胴体方向の変位を参加者に認知させることが難しい。そのため、図7のようにロボットの腕を用いて下半身が向いている方向を示し、胴体方向の変位を認知させる

方法を取ることにした。



図 4: 使用するロボット

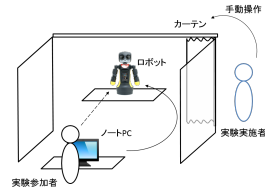


図 5: 実験環境



図 6: 実験風景



図 7: 胴体方向が正面の場合（画像左）と左の場合（画像右）の比較

3.2 実験方法

実験は、15名の大学生の実験参加者に協力してもらった。参加者には、ディスプレイに表示された指示に従いプログラムを操作するよう教示する。参加者のボタン操作により、何らかの姿勢を取ったロボットが3秒間呈示される。参加者がその姿勢を取ったロボットの視線の志向性の強さを評価した後にボタンを押すことで、次の姿勢を取ったロボットの呈示を行う。ロボットが姿勢を変える際は、図5中のカーテンを用いて一度参加者の視界からロボットを隠し、次の姿勢を作った後にカーテンを開くことで参加者にロボットを呈示する。これは、ロボットの身体動作（文脈的要因）が視線の志向性認知に影響を与えることを避けるために行う。

全27通りのロボットの姿勢に対して、参加者は各姿勢を3回ずつ評価する。また、ロボットの視線の志向性の強さは、「ロボットに見られているように感じたか」と「ロボットの視線に「意図」を感じたか」の2項目について参加者に7段階で評価させ、同一の姿勢3回の評価値の平均を算出し、その値を用いることにした。

3.3 実験結果・考察

実験結果を図8と図9のグラフに示す。図8は、実験参加者に評価させた2項目の姿勢ごとの平均値を比較したものである。また図9は、実験参加者に評価させた「ロボットの視線に「意図」を感じたか」の評価平均値をシミュレーション結果（実験結果に最も値の近いもの）と比較したものである。なお、各グラフの横軸はロボットの示した姿勢を示しており、先頭文字から順に胴体方向・頭部方向・眼球方向を示している。

評価項目1と評価項目2の比較より、被視感の大きい姿勢のほうが意図を強く感じていることがわかる。しかし「LCC, CCC, RCC」の姿勢では、被視感が大きくなったにも関わらず意図はあまり感じられていない。そのため、これらの姿勢で

はロボットが「表出機能」を使用していると参加者が判断した可能性が考えられる。また、人間がロボットの姿勢によって被視感の大小や意図の強弱を感じていることがわかる。このことは、人間がロボットの視線の機能の判別や視線の志向性の強さの評価について、姿勢を一つの判断基準としていることを示している。

評価項目2の平均値とシミュレーション結果を比較すると、シミュレーションで求めた視線の志向性の強さの評価値推移と実験結果における視線の志向性の強さの評価値推移との間に差異が存在することがわかる。特に、シミュレーションで志向性が強く感じられると評価された姿勢では参加者は意図を強く感じず、シミュレーションでは志向性が弱いと評価された姿勢では参加者が意図を強く感じる傾向にあるといえる。このことは、シミュレーションの前提条件として考えていた仮説や予測以外の要因が、視線の志向性の強さの評価に影響を与えている可能性を示唆している。

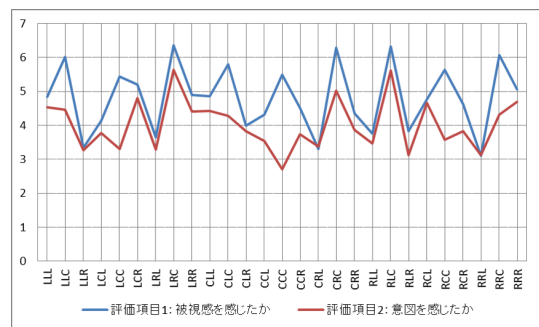


図 8: 評価項目1と評価項目2の比較

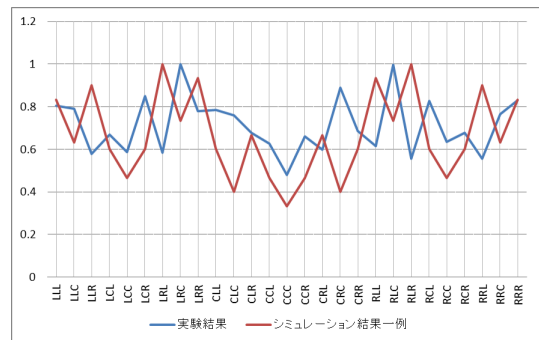


図 9: 実験結果（評価項目2の平均値）とシミュレーション結果の比較

ここで、参加者の志向性評価の傾向を調べるために、評価項目2の実験結果をクラスタリングによりグループ化し、そのグループごとの特徴を抽出した（表1）。なお、クラスタリングはWard法を用いて行った。

クラスタリング結果から、参加者は「胴体以外の身体要素が一方方向のみ変位している」ような姿勢により強く意図を感じる傾向があり、また「頭部と眼球の向く方向に齟齬が発生している（強いねじれが発生している）」、「身体要素すべてが参加者方向を向いている」などの姿勢では意図をあまり感じない傾向があるがわかる。このことより、身体要素間のねじれが逆に意図を感じさせない要因となっている事がわかる。ここで、胴体以外の身体要素が一方方向のみ変位している場合に強く意図を感じていることより、各身体要素の向いている方向の「一貫性」が影響してくる可能性が考えられる。身体要素間にねじれがあるということは、身体の向く方向に一貫性がないというこ

とを示している。このことから、視線の志向性認知に「一貫性」が影響している可能性が高いと予想される。

本実験において、胴体の変位は腕の方向によって表していた。しかし、腕が参加者方向を向いている場合、グループにまとめられた他の姿勢よりも視線の志向性の強さの評価値が高くなる傾向があった。このことは、ロボットの腕方向が参加者に対して胴体方向の変位を適切に示しておらず、姿勢とは別に視線の志向性を強く感じさせる要因となっていることを示していると考えられる。

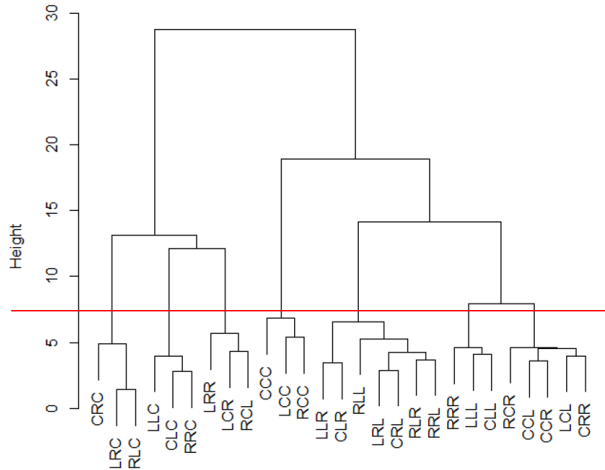


図 10: Ward 法を用いて評価項目 2 をクラスタリングしたもの

表 1: クラスタリングされたグループごとの特徴

クラスターグループ	属する姿勢	評価値平均	グループごとの特徴
グループ1	CRC,LRC,RLC	高い	胴体に変位しており、顔が参加者方向を向いている 特に評価値が大きいものは腕が正面を向いている
グループ2	LLC,CLC,RRC	高い	胴体に変位しており、顔が参加者方向を向いている
グループ3	LRL,LOR,RCL	高い	体と顔が同じ方向を向き、眼のみが参加者方向を向いている (LRRを除く)
グループ4	OCC,LCC,ROC	低い	体、顔、眼が全て参加者方向を向いている
グループ5	LLR,CLR,RLL,LRLL,RLR,RRR	低い	顔と眼の間に強いねじれが存在する (RLLを除く)
グループ6	RRR,LLL,CLL	高い	顔と眼が同方向に変位している(LRR,RLL,CRRを含む)
グループ7	ROR,CCL,COR,LCL,CRR	普通	体と顔が同じ方向を向き、眼のみが参加者方向を向いている (CRRを除く)

4. まとめ

視線の志向性の強さと姿勢コストの高さの間に正の相関があるという仮説の元、眼球・頭部・胴体の各身体要素の向きと姿勢コストに関する評価関数の導出とシミュレーションを行った。また、求めた評価関数に関する評価実験を行い、シミュレーション結果との比較・分析によって評価関数の妥当性を検証した。その結果、シミュレーション結果と実験結果との間に差異が見られたことから、我々の立てた仮説や予測とは別の要因が視線の志向性の強さの認知に寄与している可能性が示唆された。その原因を調べるために更に分析を行った結果、身体要素の向きの一貫性が視線の志向性の強さの認知に影響している可能性が示唆された。

今後、今回の実験により明らかとなった視線を送る際の各身体要素の向く方向の一貫性を考慮した視線の志向性認知モデルを作成し、シミュレーションと評価実験を行っていく。これにより、各身体要素の向いている方向の一貫性が視線の志向性認知に影響しているという予測が妥当であることを検証していく。なお、視線の志向性認知に腕の示す方向が影響してしまっていたことから、今後の実験では別の方法を用いて胴体方向の変位を示す必要がある。

また、今回の実験では静止した状態のみを考察対象としていたが、本来の人間とロボットのコミュニケーションの場では

文脈的要因（動き、状況など）による視線の志向性認知への影響が表れることが考えられる。そのため、身体要素に動きが発生した場合の視線の志向性に関する評価実験を行い、その結果を分析することで文脈的要因が視線の志向性認知に与える影響を調査することを想定している。また、この実験の結果と姿勢のみを判断基準とした視線の志向性認知モデルを比較し、共通点や相違点を示すとともに、身体動作を考慮した視線の志向性認知モデルを導出することを目指す。

謝辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究(領域提案型)「インタラクションデザイン学(平成26~30年度)」(課題番号 26118001)による支援を受けたものである。

参考文献

- [Corkum 95] Corkum,V. & Moore,C., “Development of joint visual attention in infants.”, In C.Moore & P.J.Dunham(eds.), Joint attention: Its origins and role in development(pp.61-83), Lawrence Erlbaum Associates(1995)
- [Gobel 15] Matthias S.Gobel, Heejung S.Kim b & Daniel C.Richardson: “The dual function of social gaze”, Cognition, Vol.136, 359-364(2015)
- [深山 02] 深山篤, 大野健彦, 武川直樹, 澤木美奈子, 萩田紀博: “擬人化エージェントの印象操作のための視線制御方法”, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.12, 3596-3606(2002)
- [Ito 05] Akira Ito & Kazunori Terada, “Producing intentionality in eye-contact robot”, 11th International Conference on Human-Computer Interaction, HCI International, pp.22-27(2005)
- [北村 10] 北村裕貴, 湯浅将英, 武川直樹: “「人の視線」と「ロボットの視線」が伝える意図の比較分析—ロボットの「コチラガホシイ」の視線動作デザイン—”, 電子情報通信学会技術研究報告.HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎, Vol.109, No.457, 55-60(2010)
- [Perrett 94] Perrett,D., Emery,N.J., “Understanding the intentions of others from visual signals:Neurophysiological evidence”, Cahiers de Psychologie Cognitive, 13, 683-694(1994)
- [Todorović 06] Todorović ,D., “Geometrical basis of perception of gaze direction”, Vision Reseach, Vol.46, pp.3549-3562(2006)
- [米澤 07] 米澤朋子, 山添大丈, 内海章, 安部伸治: “ぬいぐるみロボットの視線行動を用いた視線コミュニケーションの分析”, 電子情報通信学会技術研究報告.HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎, Vol.107, No.308, 5-12(2007)
- [吉川 07] 吉川雄一郎, 篠沢一彦, 石黒浩, 萩田紀博, 宮本孝典: “応答的注視ロボットによる被注視感の呈示”, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.3, 1284-1293(2007)