

センサネットワークと一体化した

アンドロイドシステムの開発

Development of the Android System integrated with Sensor Network

力石 武信*¹ 港 隆史*² 石黒 浩*^{1,3}

Takenobu Chikaraishi Takashi Minato Hiroshi Ishiguro

1. はじめに

日常生活の中で人間と関わり合い、活動を行うロボットの研究が進んでいる[1][2]。一方、我々の生活においては機械的な外観を持ったロボットやコンピュータのみではこなすことのできない人間の存在感が前提となるタスクが多く存在する。その理由は人間の居住空間は人間の存在を前提にして設計されていることや、人間は他人の存在から安心感を得ていることが挙げられる。ロボットに人間の存在感を持たせるためには、人間がロボットをあたかも人間であるかのように認識し、そのロボットも自身が人間であるかのように振る舞い、自然なコミュニケーションを行うことのできるシステムを開発する必要がある。人間の存在感を持ったロボットシステムを開発するには次のような課題が存在する。

1. 人間に酷似した外観を持ち、動作が出来ること
2. 人間がコミュニケーションを行うために必要な知覚機能を備えること。

そこで、本研究では、人間に酷似した外観を持つロボット ReplieeQ2 (Fig. 1) および環境中に埋め込まれた多種複数センサを用いて、上記システムを開発する。従来の日常活動型ロボットにおける知覚機能は、ロボット本体に内蔵されたセンサを用い、そのロボット単体の知覚能力を高めることによって、コミュニケーション能力を高めるといった手法が取られてきたが、人間とのコミュニケーションを実現するには、ロボット本体が動作することによりノイズや不必要な情報が増えることによる制約が多い。これに対して、環境中に多種複数のセンサを埋め込み、環境自体に知覚機能を持たせるという環境知能による手法がある[3][4]。このような手法を用いれば、これらの制約を解決する必要はない。本研究においては環境に埋め込まれたセンサから得られる情報という人間自身の知覚とは全く異なるモダリティを用いて自然なコミュニケーションを行うためには、どのような知覚機能を作り、その知覚した結果をどのようにロボットの動作に反映させるべきかといった課題も存在しており、そこから得られる開発、実装手法は、人間同士でのコミュニケーションにおける原理を探るといった認知科学的研究に対しても有用なプラットフォームとなることができる。

以上の理由により、本稿では上記システムの開発、実装手法を報告する。また、このシステムの有効性を検証

するため、多種のセンサを用いてアンドロイドの心的状態を定義する場合とランダムに心的状態を発生させる場合を比較した結果を報告する。

2. 人間と自然なコミュニケーションを実現するアンドロイド

ここで開発するロボットには、人間と同様のコミュニケーション能力を持つことが求められる。ロボットが人間に酷似した外観を持つこと、自然なコミュニケーションに必要な知覚機能を持つことの二つが求められる。前者については可能な限り人間に酷似した外観を持ち、人間が行う運動を出来るだけ実現できる機構を持つことが必要となる。そこで、人間に酷似した外観を持つロボットである ReplieeQ2 を用いる (Fig. 1)。以下、アンドロイドと呼ぶ。このアンドロイドは実在の人物を元にデザインされており、人間に酷似した外観を持つ。また、可能な限り人間と等価な運動が可能になるように、多くの自由度を持つように設計されている。



Fig. 1 ReplieeQ2.

後者については出来るだけ人間の知覚で得られる情報と同等の情報が必要である。ここで、人間

*1 大阪大学大学院 工学研究科

*2 ERATO 浅田プロジェクト

*3ATR(株)国際電気通信基礎技術研究所知能ロボティクス研究所

同士のコミュニケーションについて考えてみる．人間同士のコミュニケーションチャンネルには，音声チャンネルと非音声チャンネルがある．音声チャンネルには，(1) 言語，(2) 声の高さや間の置き方などの近言語がある．次に非言語チャンネルには，視線，ジェスチャなどの(3) 身体的動作，対人距離などの(4) プロクセミクス，衣服やアクセサリーなどの(5) 装着物，家具などの(6) 物理的環境などが挙げられる[8]．よって，システムには，このコミュニケーションチャンネルを通して人間が表現するものを知覚し，表現することが求められる．一方，環境中に埋め込まれたセンサからは，人間のセンサ領域での位置座標などの定量的な情報が取得されることになるが，人間はコミュニケーションにおいて必要な情報は，話ができる距離にいるかなどの主観的な情報である．そこで，本研究ではセンサにより情報を取得する，その情報からアンドロイドが実行する動作を決定する，という過程を繰り返すことによりコミュニケーションの文脈を決定する．例えば，アンドロイドの位置座標と人間の位置座標が遠い時は，アンドロイドは無関心な動作を行うが，極端に近い時，アンドロイドは緊張した動作を行うという様である．また，自然なコミュニケーションを実現する上で，人間に肉体的心理的負担となるセンサデバイスは選択できない．よって本研究では非装着，非侵襲のセンサでなければならない．

3. ハードウェア構成およびソフトウェア構成

ここではハードウェア構成およびソフトウェア構成を述べる．まず，ハードウェア構成 (Fig. 2) およびソフトウェア構成 (Fig. 3) の概略を図示する．

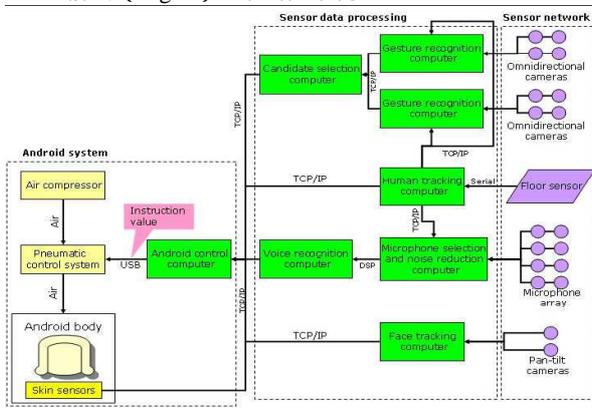


Fig.2 Hardware organization.

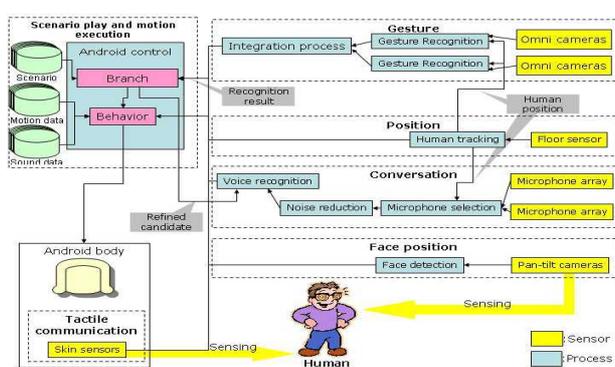


Fig.3 Software architecture.

センサ情報処理系からの認識結果をセンサ情報処理系が

ら受け取り，これを基に話の流れが分岐し，アンドロイドに適切な動作を決定する．すなわち，

1. センサ情報を取得する．
2. 取得したセンサ情報からシナリオを分岐させ，実行すべきシナリオIDを取得する．
3. シナリオIDから実行すべき動作を取得する．
4. 動作を実行すると共に音声を再生する．
5. 1.に戻り，繰り返す．

この手順を繰り返すことにより，シナリオ分岐内により状況を限定し，動作を実行することによって，コミュニケーションを実行する．このようにして状況を取得することにより，認識すべき候補を減らすこともでき，認識精度を向上させることができる．なお，このシナリオデータは XML により簡便に表記され，プログラミングスキルを持たない者でも容易に作成することができる．またさらに，多種センサを組み合わせることにより，次のような効果も期待できる．それは，あるセンサの認識の結果を用いれば，他のセンサの認識の際，認識すべき候補を減らすことが出来，認識を助けることが出来ることである．本研究においては，床センサからの位置情報をジェスチャ認識に，ジェスチャ認識の結果から音声認識に渡し，認識候補を減らし認識精度を上げている．

4. 心的状態を考慮した自然な待機動作の生成

本システムの有効性を確認するため，単純な待機動作を作成し，豊かな知覚機能を持つこのシステムが自然なインタラクションに有効であることを示す．人間の場合，待機時における動作は心的状態によって大きく変化する．例えば，緊張している際の動作は，通常の状態に比べて，瞬きの回数が多く，呼吸もあらかなくなる．こうした心的状態の違いによる動作の変化をアンドロイドに実行させれば，人間らしい印象を与えると考えられる．また，アンドロイドは完全に静止した状態では人間らしく見えないとの知見が得られており[5]，完全に停止することはできない．そこで観察実験により人間の待機状態を調査し，アンドロイドがセンサネットワークにより決定する心的状態を考慮し，あらかじめ作成された多数の動作の中からある特定の動作を選択できるようにすることで，無意識的動作を実現し待機動作を生成する．また，このようにして生成される心的状態を考慮した待機動作とランダムに選択された待機動作を比較し，本システムの有効性を確認する．

4.1 待機状態にある人の動作の観察

待機状態を把握するために，人間の観察実験を行った．観察する項目は，2 つである．待機状態の人の動作，およびそのときの心理状態とする．実験者は，人間の自然な動作の調査のための実験と被験者に知らせ，椅子に座り，20 分間その場で席を立たずに座っているように指示し，デジタルビデオカメラで様子を記録する．その映像を基に各被験者に共通して現れる動作の種類を調べた．被験者は，座っている被験者が，20 代の男女の大学生 1 名ずつの計 2 人と，観察する被験者は，20 代の男子大学生 2 人とした．

4.1 待機動作における心的状態の分類

被験者 B に被験者 A の動作に対してどう感じたか自由記述のアンケートについて述べる．その結果は Table 2 と

なる．これを心的状態を決定する要因として，対人位置，対人距離を用いて分類をする．Table 2 の 1 列目の Position ID に書かれた数値は，Fig. 4 の位置の番号に対応する．また，Position の数値に，1-6 のように数値の間にハイフ

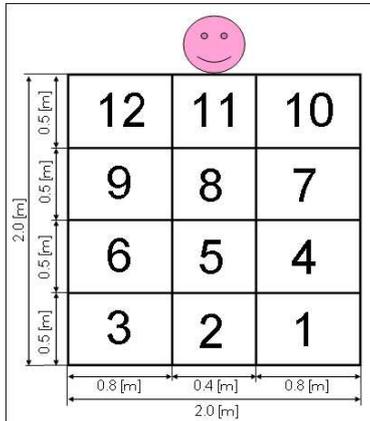


Fig. 4 Definition of position ID

ンがある項目は，1 から 6 のいずれかを示している．次に，この図の説明を 1 行目を例に挙げて説明する．1 列目の Position が，2, 5 となっているので，被験者 A は，Fig. 4 の 2 または 5 の位置で静止していることを示している．次に，2 列目は，被験者 A の動作を表している．この場合，被験者 B を凝視している．次に，3 列目は，被験者 A に対して被験者 B がどう感じ

ているか質問した際の回答を表している．この場合，嫌となっている．4 列目は，嫌悪を示している．これは，3 列目の回答から類似している回答をまとめた．その回答内容を基に，Plutchik の情動のモデル[6] を用いて 5 種類の情動に分類したものである．例えば，Table 2 の 1 行目の内容は，以下ようになる．

- 位置は，Fig. 4 の 2 または 5
- 被験者 B の動作は，被験者 B を凝視する
- 被験者 B は，被験者 A の行動を嫌と感じている
- 情動は，嫌悪と分類されている

4.2 センサ情報を用いた動作選択

Table 2 に示した被験者 A の行動を把握する際には，各センサからの情報を取得して，被験者 A の行動を把握する．常に，はじめはフロアセンサ内の人の有無の確認から始まり，次は，フローチャートの質問に沿ってセンサ情報を参照しながら被験者 A の行動を決定する．例えば，フロアセンサ内に誰がいるか確認して「いる」なら「位置情報を取得」する．次に，「移動の有無」を調べ，「移動していない」とする．さらに，「顔方向を確認」して，「正面」なら「被験者 A の静止時間は 2sec 以上か」どうか調べ，2sec 以上なら被験者 A は「凝視している」と被験者 A の行動を特定できる．他にも「アンドロイドの(左・右・正面)の位置から(頭・両腕・胸・両手・両膝・両腿)をさわった」や「周辺で物音がした」ことを把握できる．

5. 評価

5.1 実験目的

センサを用いてアンドロイドの心的状態を定義する場合とランダムに心的状態を発生させる場合を比較する実験

Table 1 How the subject B feels about the subject A.

Action of the subject A		How the subject B feels about the subject A	Mood
Position ID	Behavior		
2,5	Stare at subject B	Unpleasant Unpleasant + Oppressing feeling Very unpleasant + Oppressing feeling	Disgust
8	Stare at subject B		
11	Stare at subject B		
1-6	Not stare + Walk around	Not so concerned about the action of subject A	Acceptance
1,3,4,6	Stare at subject B	Harassed	Fear
7-12	Not stare + Walk around	Anxiousness Anxiousness Anxiousness Anxiousness	Anxiety
8,11	Look somewhere		
1-12	Stare + Walk around		
7,9,10,12	Stare at subject B		
1-7,9,10,12	Look somewhere	Worry about where subject is looking at	Interest

を行う．センサを一切使わずにランダムで動いているアンドロイドと，提案手法を用いたアンドロイドの 2 水で比較し，被験者が提示対象を人間らしいと評価する値がどのように変化するか調べた．

評価する値は，0 を含む -3 ~ 3 の 7 段階で評価した．ただし，アンドロイド本体に触る，アンドロイド周辺で物音を立てることに対する反応動作は，実際にそのように行動した被験者がいなかったため使用されなかった．実験条件は，以下の 2 条件である．

・条件 1) ランダムに動いているアンドロイドを 3 分間提示し，1 分程時間をおいて後，次に提案手法を用いたアンドロイドを 3 分間提示した場合

・条件 2) 提案手法を用いたアンドロイドを 3 分間提示し，1 分程時間をおいて後，次にランダムに動いているアンドロイドを 3 分間提示した場合

また，被験者に条件を提示する順序の効果を相殺するために，被験者ごとに提示する順序を 2 パターンの順番で提示した．

5.2 実験手順

実験の様子を Fig. 5 に示す．教示として，2 回アンドロイドを見せるので 1 回につき 3 分間アンドロイドの周りを自由に行動し，どれくらいアンドロイドが人間らしいか評価するよう指示し，2 回アンドロイドを見せた後に解答用紙を渡しそれぞれのアンドロイドの人間らしさを評価させた．また，被験者に対して行った質問項目は，「あなたが見た相手の人間らしさをあまり考え込まずに 7 段階でお答え下さい」とし，0 を含む -3 ~ 3 の数直線上に丸印を記入させた．なお，被験者には，声をかけても触れても構わないとあらかじめ伝えてあり，被験者は，合計 16 人である．

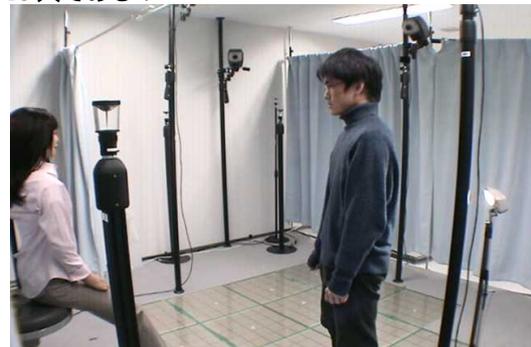


Fig. 5 Experimental scene.

5.3 結果

実験結果を以下に示す．有効回答数は，16 人であった．以下，ランダムに選択されているアンドロイドの動作をランダム動作，提案手法によるアンドロイドの動作をセンサ動作と略し，前節で述べた待機動作の人間らしさの評価値を評価値と呼び，それぞれの評価値について t 検

定を行った。

a) Table 3 の No.3 より, 1 回目に見たランダム動作の評価値の平均値と 1 回目に見たセンサ動作の評価値の平均値で検定を行った結果, 有意差があった($p < .05$)。

b) Table 3 の No.4 より, 2 回目に見たランダム動作の評価値の平均値と 2 回目に見たセンサ動作の評価値の平均値で検定を行った結果, 有意差はなかった($p = .452$)。

各条件の 1 回目の提示の回答のみを用いる場合, センサ動作の評価値の平均値と, ランダム動作の評価値の平均値は, 独立であるため, a より, センサ動作が人間らしさの向上に有効であるといえる。ここで, b より同一被験者に対して, 2 回目に見たアンドロイドの人間らしさの評価値が 1 回目に見たアンドロイドの人間らしさの評価値に影響を受ける可能性があるため検討する。a, b により, どちらかがもう一方に影響を受ける可能性があるため, どちらが影響を受けるのかを検討する。

c) Table 3 の No.5 より, 1 回目にランダム動作を見せた場合の評価値の平均値と, 2 回目にセンサ動作を見せたときの評価値の平均値で検定を行った結果, 有意差があった($p < .05$)。

d) Table 3 の No.6 より, 1 回目にセンサ動作を見せた場合の評価値の平均値と, 2 回目にランダム動作を先に見せたときの評価値の平均値で検定を行った結果, 有意差はなかった($p = .384$)。

c, d よりランダム動作はセンサ動作によって人間らしさの評価値に影響を受ける可能性がある。そこで, ランダム動作がセンサ動作に影響を受けることを確かめるために, 見る順番で比較する。

e) Table 3 の No.1 より, 1 回目に見たランダム動作を見た場合の評価値の平均値と 2 回目に見たランダム動作の評価値の平均値で検定を行った結果, 有意差がある($p < .10$)。

f) Table 3 の No.2 より, 1 回目に見たランダムを見た場合の評価値の平均値と 2 回目に見たランダムの評価値の平均値で検定を行った結果, 有意差はない($p = .438$)。

Table 2 The experimental result.

No	Condition	Method	Average of the evaluation	P-value
1	1	Random	-0.63	$p < .10$
	2	Random	0.50	
2	1	Proposed method	0.63	0.438
	2	Proposed method	0.75	
3	1	Random	-0.63	$p < .05$
	2	Proposed method	0.75	
4	1	Proposed method	0.63	0.452
	2	Random	0.5	
5	1	Random	-0.63	$p < .05$
	1	Proposed method	0.63	
6	2	Random	0.50	0.384
	2	Proposed method	0.75	

6. 考察と課題

実験により, 人間らしさを実現する上でセンサを用いた動作生成は有効であることと, 初めに人間らしいと思ってしまうと, 後はセンサを用いなくても人間らしいと感じることがわかった。これは人間が文脈により大きくその認識の対象や精度を変えながら認識を行っていることを示唆している。すなわちアンドロイドが文脈を細やかに取得することが出来ればそれほど細やかな認識を行わなくても十分人間と自然にインタラクションを行うこ

とができる可能性を示す。これは本研究で実装したように認識候補を減らすといった, システム側の手法のみならず, アンドロイドの動作生成をリアルタイムで行う場合など, 完全に人間らしく見える動作を生成しなくても, ある程度, 人間を錯覚させることができる可能性を示唆する。逆に文脈によっては非常に精度の高い認識が要求される場面があることも想像できる。例えば, 自由回答の結果にあった例を見ると, 人間らしさを感じない理由として目が泳ぎすぎているという回答があった。これはアンドロイドがしっかりと目を合わせる事が期待される場面でそれができなかったことが原因だと考えられる。このように本システムにおいてはシステムの取得できる情報の精度がそのまま文脈の細かさにつながり, それがアンドロイドとインタラクションを行う際, 人間の行動の自由を狭めており, 大きな課題となる。

7. まとめ

本稿では, 人間的存在感を持ち人間と自然なコミュニケーションを可能とするシステムを実現するため, 人間に酷似した外観を持つアンドロイドとコミュニケーションに必要な知覚機能を実現するためセンサネットワークを用い, それらが一体化したシステムを開発し, その実装手法を報告した。また, 本システムの有効性を確認するため, 単純な待機動作をセンサを使って動作させた場合とランダムに動作させた場合とを比較し, その有効性を実験で検証した。

謝辞: 本稿を作成するにあたり多大な貢献をしてくれた永富安和君に厚く感謝を申し上げます。

参考文献

- [1] 神田崇行, 石黒浩, 小野哲雄, 今井倫太, 中津良平: “人間と相互作用する自律型ロボット Robovie の評価”, 日本ロボット学会誌, Vol.20, No.3, pp.315-323, 2002.
- [2] 五十棲隆勝・赤地一彦・平田勝・金子健二・梶田秀司・比留川博久: “ヒューマノイドロボット HRP-2 の開発”, 日本ロボット学会誌, Vol.22, No.8, pp.52-60
- [3] H. Morishita, K. Watanabe, T. Kuroiwa, T. Mori and T.Sato: “Development of Robotic Kitchen Counter: A Kitchen Counter Equipped with Sensors and Actuator for Action-adapted and Personally-fit Assistance”, Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems IEEE Robotics and Automation Society and Robotics Society of Japan, pp.1839-1844, 10 2003.
- [4] 森武俊・野口博史・佐藤知正: “センシングルーム-部屋型日常行動計測蓄積環境第 2 世代ロボティックルーム-”, 日本ロボット学会誌, Vol.23, No.6, pp.25-29, 2005
- [5] 嶋田倫博, 港隆史, 石黒浩: “アンドロイドによるロボットの見かけを考慮したコミュニケーション評価”, 日本機会学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, 2P1-H-68, 2004.
- [6] Plutchik, R.: “The emotion : facts, theories and new model”, New York : Randam House