

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5120745号
(P5120745)

(45) 発行日 平成25年1月16日(2013.1.16)

(24) 登録日 平成24年11月2日(2012.11.2)

(51) Int.Cl.

F I

B 2 5 J 13/00 (2006.01)
 A 6 3 H 11/00 (2006.01)
 B 2 5 J 5/00 (2006.01)
 B 2 5 J 13/08 (2006.01)

B 2 5 J 13/00 Z
 A 6 3 H 11/00 Z
 B 2 5 J 5/00 A
 B 2 5 J 13/08

請求項の数 3 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2005-66734 (P2005-66734)
 (22) 出願日 平成17年3月10日(2005.3.10)
 (65) 公開番号 特開2006-247780 (P2006-247780A)
 (43) 公開日 平成18年9月21日(2006.9.21)
 審査請求日 平成20年1月10日(2008.1.10)
 審判番号 不服2011-27060 (P2011-27060/J1)
 審判請求日 平成23年12月15日(2011.12.15)

(出願人による申告) 平成16年度独立行政法人情報通信研究機構、研究テーマ「超高速知能ネットワーク社会に向けた新しいインタラクション・メディアの研究開発」に関する委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受ける特許出願

(73) 特許権者 393031586
 株式会社国際電気通信基礎技術研究所
 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
 (74) 代理人 100090181
 弁理士 山田 義人
 (72) 発明者 光永 法明
 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内
 (72) 発明者 神田 崇行
 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内
 (72) 発明者 石黒 浩
 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 コミュニケーションロボット

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

人間との間でインタラクションするコミュニケーションロボットであって、

前記人間とのインタラクションにおける対人距離、前記人間の顔に自身の顔を向ける時間の長さ、発話から身体動作の動作開始までの遅れ時間および身体動作の動作速度の少なくとも1つを含む、インタラクションについてのパラメータを当該人間に対応して記憶するパラメータ記憶手段、

インタラクションの開始時に前記人間を識別する人間識別手段、

前記人間識別手段によって識別された人間に対応するパラメータが前記パラメータ記憶手段に記憶されているかどうかを判断する第1判断手段、

前記第1判断手段によって前記識別された人間に対応するパラメータが前記パラメータ記憶手段に記憶されていないと判断されたとき、当該識別された人間に似た人間に対応するパラメータが記憶されているかどうかを判断する第2判断手段、

前記第1判断手段または前記第2判断手段の判断結果に基づいて、前記パラメータ記憶手段に記憶された前記パラメータを用いて前記識別された人間に対応するパラメータを設定するパラメータ設定手段、

前記パラメータ設定手段によって設定されたパラメータに従って発話および身体動作の少なくとも一方を含むインタラクションを実行するインタラクション実行手段、

前記パラメータ設定手段によって設定されたパラメータでインタラクションを実行したときの人間の移動距離を検出する移動距離検出手段、

10

20

前記パラメータ設定手段によって設定されたパラメータでインタラクシオンを実行したときに人間がコミュニケーションロボット自身の顔を見る時間を検出する時間検出手段、前記移動距離検出手段および前記時間検出手段の少なくとも一方の検出結果に基づいて、仮定された前記人間の快適さを表す指標値を検出する快適度検出手段、および

前記快適度検出手段によって検出された前記指標値を増大させるように、方策勾配法による強化学習により前記パラメータを更新する更新手段を備える、コミュニケーションロボット。

【請求項 2】

前記対人距離は、親密距離、個体距離および社会距離を含む、請求項 1 記載のコミュニケーションロボット。

【請求項 3】

前記パラメータ設定手段は、前記第 1 判断手段によって前記識別された人間に対応するパラメータが前記パラメータ記憶手段によって記憶されていると判断されたとき、当該識別された人間に対応するパラメータを設定し、または、前記第 2 判断手段によって前記識別された人間に似た人間に対応するパラメータが前記パラメータ記憶手段によって記憶されていると判断されたとき、当該似た人間に対応するパラメータを設定し、一方、前記第 2 判断手段によって前記識別された人間に似た人間に対応するパラメータが前記パラメータ記憶手段によって記憶されていないと判断されたとき、前記パラメータ記憶手段によって記憶されているすべてのパラメータの平均値を設定する、請求項 1 または 2 記載のコミュニケーションロボット。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明はコミュニケーションロボットに関し、特にたとえば、人間との間で発話および身体動作の少なくとも一方を含むインタラクシオン行動を行う、コミュニケーションロボットに関する。

【背景技術】

【0002】

自然なコミュニケーションを行うためには、相手への適応が重要であり、たとえば人が快適に過ごすためには、適度なパーソナルスペースが必要である。このパーソナルスペースはコミュニケーションの内容により異なることが非特許文献 1 に開示されている。また、非特許文献 2 に開示されるように、視線を合わせる頻度が人により異なることも知られている。快適なパーソナルスペースや視線頻度は人により異なるが、人はコミュニケーション相手に合わせ、互いに快適さを保っている。たとえば、相手が近すぎると感じれば少し離れ、また、非特許文献 3 に開示されるように、見つめられ過ぎると感じれば視線を反らす。さらに、非特許文献 4 ~ 非特許文献 6 に開示されるように、人と関わるロボットについて、パーソナルスペースの考え方を応用する研究が行われている。

【0003】

また、この種のコミュニケーションロボットに近似する背景技術の一例が特許文献 1 に開示される。この特許文献 1 によれば、行動パターン生成装置は、たとえば、ロボットに適用される。行動パターン生成装置は、ロボットに対するユーザの対人距離を検出し、対人距離に応じてロボットに対するユーザの親密度を求めて、親密度に応じて、ユーザがロボットをコミュニケーション対象としているかどうかを判断するようにしてある。また、行動パターン生成装置では、ユーザの音声の強弱やトーンの高低、さらには血圧や体温等に基づいて、ユーザの感情が推定される。行動パターン生成装置は、対人距離やユーザの感情に応じた行動をロボットに実行させるようにしてある。

【非特許文献 1】E. T. Hall. The Hidden Dimension. Double Day Publishing, 1966.

【非特許文献 2】S. Duncan jr. and D. W. Fiske. Face-to-Face Interaction: Research, Methods, and Theory. Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers, 1977.

【非特許文献 3】E. Sundstrom and I. Altman. Interpersonal relationships and pers

10

20

30

40

50

onal space: Research review and theoretical model. Human Ecology, 4(1), 1976.

【非特許文献 4】中嶋 移動体ロボットに対するヒトの個体距離に関する研究．博士論文、九州芸術工科大学、1998．

【非特許文献 5】Y. Nakauchi and R. Simmons. A social robot that stands in line. Autonomous Robots, 1:313-324, 2002.

【非特許文献 6】T. Tasaki, S. Matsumoto, K. Komatani, T. Ogata, H. G. Okuno. Dynamic communication of humanoid robot with multiple people based on interaction distance. In Proc. of International Workshop on Robot and Human Interaction (Ro-Man-2004), pp.81-86, IEEE, 2004.

【特許文献 1】特開 2004 - 66367 号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、背景技術のロボットでは、パーソナルスペースは固定的であり、個人に適応させたものは存在しなかった。ただし、特許文献 1 に開示される行動パターン生成装置では、ユーザの音声の強弱やトーンの高低、さらには、血圧や体温等に基づいてユーザの感情を推定するようにしてあるため、この点では、個人および個人の感情に適応させたコミュニケーション（インタラクション）を行っていると言えるが、対人距離については、閾値処理により、ロボットとコミュニケーションしているか否かを判断するのみである。つまり、適切なパーソナルスペースを個人に適応させていなかった。このため、ロボットとコミュニケーションするユーザないし人間は、コミュニケーションにおいて不快に感じてしまうこともあった。

【0005】

それゆえに、この発明の主たる目的は、新規な、コミュニケーションロボットを提供することである。

【0006】

この発明の他の目的は、人同士のような自然なインタラクションを実現できる、コミュニケーションロボットを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

請求項 1 の発明は、人間との間でインタラクションするコミュニケーションロボットであって、人間とのインタラクションにおける対人距離、人間の顔に自身の顔を向ける時間の長さ、発話から身体動作の動作開始までの遅れ時間および身体動作の動作速度の少なくとも 1 つを含む、インタラクションについてのパラメータを当該人間に対応して記憶するパラメータ記憶手段、インタラクションの開始時に人間を識別する人間識別手段、人間識別手段によって識別された人間に対応するパラメータがパラメータ記憶手段に記憶されているかどうかを判断する第 1 判断手段、第 1 判断手段によって識別された人間に対応するパラメータがパラメータ記憶手段に記憶されていないと判断されたとき、当該識別された人間に似た人間に対応するパラメータが記憶されているかどうかを判断する第 2 判断手段、第 1 判断手段または第 2 判断手段の判断結果に基づいて、パラメータ記憶手段に記憶されたパラメータを用いて識別された人間に対応するパラメータを設定するパラメータ設定手段、パラメータ設定手段によって設定されたパラメータに従って発話および身体動作の少なくとも一方を含むインタラクションを実行するインタラクション実行手段、パラメータ設定手段によって設定されたパラメータでインタラクションを実行したときの人間の移動距離を検出する移動距離検出手段、パラメータ設定手段によって設定されたパラメータでインタラクションを実行したときに人間がコミュニケーションロボット自身の顔を見る時間を検出する時間検出手段、移動距離検出手段および時間検出手段の少なくとも一方の検出結果に基づいて、仮定された人間の快適さを表す指標値を検出する快適度検出手段、および快適度検出手段によって検出された指標値を増大させるように、方策勾配法による強化学習によりパラメータを更新する更新手段を備える、コミュニケーションロボットで

ある。

【 0 0 0 8 】

請求項 1 の発明では、コミュニケーションロボットは、人間との間で、身体動作および発話少なくとも一方を含むインタラクシヨン行動を実行する。パラメータ記憶手段は、人間とのインタラクシヨン（インタラクシヨン行動）における対人距離、人間の顔に自身の顔を向ける時間の長さ、発話から身体動作の動作開始までの遅れ時間および身体動作の動作速度の少なくとも 1 つを含む、インタラクシヨンについてのパラメータを当該人間に対応して記憶する。つまり、人間との間でインタラクシヨンを実行し、最適化されたパラメータを当該人間に対応して記憶する。人間識別手段は、インタラクシヨンの開始時に人間を識別する。第 1 判断手段は、人間識別手段によって識別された人間に対応するパラメータがパラメータ記憶手段に記憶されているかどうかを判断する。第 2 判断手段は、第 1 判断手段によって識別された人間に対応するパラメータがパラメータ記憶手段に記憶されていないと判断されたとき、当該識別された人間に似た人間に対応するパラメータが記憶されているかどうかを判断する。パラメータ設定手段は、第 1 判断手段または第 2 判断手段の判断結果に基づいて、パラメータ記憶手段に記憶されたパラメータを用いて識別された人間に対応するパラメータを設定する。インタラクシヨン実行手段は、パラメータ設定手段によって設定されたパラメータに従ってインタラクシヨン行動を実行する。移動距離検出手段は、インタラクシヨン中における人間の移動距離を検出する。また、時間検出手段は、インタラクシヨン中において人間が自身の顔を見ている時間すなわち注視している時間を検出する。たとえば、インタラクシヨン中における人間の移動距離が長い（大きい）場合や注視時間が短い場合には、人間はインタラクシヨンに不快さを感じていると判断できる。逆に、移動距離が短い（小さい）場合や注視時間が長い場合には、人間はインタラクシヨンを快いと感じていると判断できる。快適度検出手段は、パラメータ設定手段によって設定されたパラメータでインタラクシヨンを実行したときの移動距離検出手段および時間検出手段の少なくとも一方の検出結果に基づいて、仮定された人間の快適さを表す指標値を検出する。更新手段は、快適度検出手段によって検出された指標値を増大させるように、方策勾配法による強化学習によりパラメータを更新する。つまり、インタラクシヨンのパラメータがインタラクシヨン相手に適応される。

【 0 0 0 9 】

請求項 1 の発明によれば、仮定された人間の快適さを表す指標値を増大させるように、強化学習によりインタラクシヨンのパラメータを更新し、更新したパラメータに従ってインタラクシヨンを実行するので、快適さを表す指標値がインタラクシヨン相手である人間に適合している場合には、インタラクシヨンを重ねるに従って、快適にインタラクシヨンを行うことができる。したがって、人同士のような自然なコミュニケーションが可能である。また、方策勾配法による強化学習を行うので、学習時間を短くすることができる。さらに、パラメータ記憶手段にパラメータが記憶されている人間、すなわちインタラクシヨンした経験がある人間に対しては、たとえば、前回最適化されたパラメータを用いることにより、今回のインタラクシヨンでは、その当初から比較的快適なインタラクシヨンを実行することができる。

【 0 0 1 6 】

請求項 2 の発明は請求項 1 に従属し、対人距離は、親密距離、個体距離および社会距離を含む。

【 0 0 1 7 】

請求項 2 の発明では、対人距離は、親密距離、個体距離および社会距離を含む。これは、インタラクシヨン行動の種類に応じて適切な対人距離を、個人に適応して取るようにさせるためである。たとえば、自己紹介や挨拶のようなインタラクシヨン行動を実行する場合には、社会距離が取られる。

【 0 0 1 8 】

請求項 2 の発明によれば、パラメータの対人距離として親密距離、個体距離および社会距離を含むので、インタラクシヨン行動の種類に応じた対人距離を、個人に対応して取ら

10

20

30

40

50

せることができる。

【 0 0 2 2 】

請求項 3 の発明は請求項 1 または 2 に従属し、パラメータ設定手段は、第 1 判断手段によって識別された人間に対応するパラメータがパラメータ記憶手段によって記憶されていると判断されたとき、当該識別された人間に対応するパラメータを設定し、または、第 2 判断手段によって識別された人間に似た人間に対応するパラメータがパラメータ記憶手段によって記憶されていると判断されたとき、当該似た人間に対応するパラメータを設定し、一方、第 2 判断手段によって識別された人間に似た人間に対応するパラメータがパラメータ記憶手段によって記憶されていないと判断されたとき、パラメータ記憶手段によって記憶されているすべてのパラメータの平均値を設定する。

10

【 0 0 2 3 】

請求項 3 の発明では、パラメータ設定手段は、第 1 判断手段によって識別された人間に対応するパラメータがパラメータ記憶手段によって記憶されていると判断されたとき、当該識別された人間に対応するパラメータを設定する。または、パラメータ設定手段は、第 2 判断手段によって識別された人間に似た人間に対応するパラメータがパラメータ記憶手段によって記憶されていると判断されたときには、当該似た人間に対応するパラメータを設定するが、第 2 判断手段によって識別された人間に似た人間に対応するパラメータがパラメータ記憶手段によって記憶されていないと判断されたときには、パラメータ記憶手段によって記憶されているすべてのパラメータの平均値を設定する。

20

【 0 0 2 4 】

請求項 3 の発明によれば、インタラクションした経験がある人間に対しては前回最適化されたパラメータを用いるので、今回のインタラクションでは、その当初から比較的快適なインタラクションを実行できる。また、インタラクションした経験がない人間に対しても、似た人間のパラメータや記憶されているすべてのパラメータの平均値を設定することができる。

【発明の効果】

【 0 0 2 5 】

この発明によれば、インタラクション相手である人間の仮定された快適さを表す指標値を増大させるように、強化学習によりインタラクションのパラメータを更新し、更新したパラメータに従ってインタラクションを実行するので、快適さを表す指標値がインタラクション相手である人間に適合している場合には、インタラクションを重ねるに従って、快適にインタラクションを行うことができる。したがって、人同士のよう自然なコミュニケーションを実現することができる。

30

【 0 0 2 6 】

この発明の上述の目的、その他の目的、特徴および利点は、図面を参照して行う以下の実施例の詳細な説明から一層明らかとなろう。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 2 7 】

図 1 を参照して、この実施例のコミュニケーションロボットシステム（以下、単に「システム」という。）10 は、コミュニケーションロボット（以下、単に「ロボット」という。）12 を含む。このロボット 12 は、たとえば人間 14 のようなコミュニケーションの対象（相手）とコミュニケーションすることを目的とした相互作用指向のものであり、身体動作（身振り、手振り）および発話（音声）の少なくとも一方を用いたコミュニケーション（インタラクション）の行動（以下、「インタラクション行動」ということがある。）を行う機能を備えている。

40

【 0 0 2 8 】

ロボット 12 は、人間のような身体を有し、その身体を用いてインタラクションのために必要な複雑な身体動作を生成する。具体的には、図 2 を参照して、ロボット 12 は台車 32 を含み、この台車 32 の下面には、このロボット 12 を自律移動させる車輪 34 が設けられる。この車輪 34 は、車輪モータ（ロボット 12 の内部構成を示す図 3 において参

50

照番号「３６」で示す。）によって駆動され、台車３２すなわちロボット１２を前後左右任意の方向に動かすことができる。

【００２９】

なお、図２では示さないが、この台車３２の前面には、衝突センサ（図３において参照番号「３８」で示す。）が取り付けられ、この衝突センサ３８は、台車３２への人や他の障害物の接触を検知する。そして、ロボット１２の移動中に障害物との接触を検知すると、直ちに車輪３４の駆動を停止してロボット１２の移動を急停止させる。

【００３０】

また、ロボット１２の背の高さは、この実施例では、人、特に子供に威圧感を与えることがないように、１００ｃｍ程度とされている。ただし、この背の高さは任意に変更可能である。

10

【００３１】

台車３２の上には、多角形柱のセンサ取付パネル４０が設けられ、このセンサ取付パネル４０の各面には、超音波距離センサ４２が取り付けられる。この超音波距離センサ４２は、取付パネル４０すなわちロボット１２の周囲の主として人との間の距離を計測するものである。

【００３２】

台車３２の上には、さらに、ロボット１２の胴体が、その下部が上述の取付パネル４０に囲まれて、直立するように取り付けられる。この胴体は下部胴体４４と上部胴体４６とから構成され、これら下部胴体４４および上部胴体４６は、連結部４８によって連結される。連結部４８には、図示しないが、昇降機構が内蔵されていて、この昇降機構を用いることによって、上部胴体４６の高さすなわちロボット１２の高さを変化させることができる。昇降機構は、後述のように、腰モータ（図３において参照番号「５０」で示す。）によって駆動される。上で述べたロボット１２の身長１００ｃｍは、上部胴体４６をその最下位置にしたときの値である。したがって、ロボット１２の身長は１００ｃｍ以上にすることができる。

20

【００３３】

上部胴体４６のほぼ中央には、１つの全方位カメラ５２と、１つのマイク１６とが設けられる。全方位カメラ５２は、ロボット１２の周囲を撮影するもので、後述の眼カメラ５４と区別される。マイク１６は、周囲の音、とりわけ人の声を取り込む。

30

【００３４】

上部胴体４６の両肩には、それぞれ、肩関節５６Ｒおよび５６Ｌによって、上腕５８Ｒおよび５８Ｌが取り付けられる。肩関節５６Ｒおよび５６Ｌは、それぞれ３軸の自由度を有する。すなわち、右肩関節５６Ｒは、Ｘ軸、Ｙ軸およびＺ軸の各軸廻りにおいて上腕５８Ｒの角度を制御できる。Ｙ軸は、上腕５８Ｒの長手方向（または軸）に平行な軸であり、Ｘ軸およびＺ軸は、そのＹ軸に、それぞれ異なる方向から直交する軸である。左肩関節５６Ｌは、Ａ軸、Ｂ軸およびＣ軸の各軸廻りにおいて上腕５８Ｌの角度を制御できる。Ｂ軸は、上腕５８Ｌの長手方向（または軸）に平行な軸であり、Ａ軸およびＣ軸は、そのＢ軸に、それぞれ異なる方向から直交する軸である。

40

【００３５】

上腕５８Ｒおよび５８Ｌのそれぞれの先端には、肘関節６０Ｒおよび６０Ｌを介して、前腕６２Ｒおよび６２Ｌが取り付けられる。肘関節６０Ｒおよび６０Ｌは、それぞれ、Ｗ軸およびＤ軸の軸廻りにおいて、前腕６２Ｒおよび６２Ｌの角度を制御できる。

【００３６】

なお、上腕５８Ｒおよび５８Ｌならびに前腕６２Ｒおよび６２Ｌ（いずれも図２）の変位を制御するＸ、Ｙ、Ｚ、Ｗ軸およびＡ、Ｂ、Ｃ、Ｄ軸では、「０度」がホームポジションであり、このホームポジションでは、上腕５８Ｒおよび５８Ｌならびに前腕６２Ｒおよび６２Ｌは下方向に向けられる。

【００３７】

また、図２では示さないが、上部胴体４６の肩関節５６Ｒおよび５６Ｌを含む肩の部分

50

や上述の上腕 5 8 R および 5 8 L ならびに前腕 6 2 R および 6 2 L を含む腕の部分には、それぞれ、タッチセンサ（図 3 において参照番号 6 4 で包括的に示す。）が設けられていて、これらのタッチセンサ 6 4 は、人がロボット 1 2 のこれらの部位に接触したかどうかを検知する。

【 0 0 3 8 】

前腕 6 2 R および 6 2 L のそれぞれの先端には、手に相当する球体 6 6 R および 6 6 L がそれぞれ固定的に取り付けられる。ただし、指の機能（握る、掴む、摘むなど）が必要な場合には、球体 6 6 R および 6 6 L に代えて、人の手の形をした「手」を用いることも可能である。

【 0 0 3 9 】

上部胴体 4 6 の中央上方には、首関節 6 8 を介して、頭部 7 0 が取り付けられる。この首関節 6 8 は、3 軸の自由度を有し、S 軸、T 軸および U 軸の各軸廻りに角度制御可能である。S 軸は首から真上に向かう軸であり、T 軸および U 軸は、それぞれ、この S 軸に対して異なる方向で直交する軸である。頭部 7 0 には、人の口に相当する位置に、スピーカ 7 2 が設けられる。スピーカ 7 2 は、ロボット 1 2 が、その周囲の人に対して音声または声によってコミュニケーションを図るために用いられる。ただし、スピーカ 7 2 は、ロボット 1 2 の他の部位たとえば胴体に設けられてもよい。

【 0 0 4 0 】

また、頭部 7 0 には、目に相当する位置に眼球部 7 4 R および 7 4 L が設けられる。眼球部 7 4 R および 7 4 L は、それぞれ眼カメラ 5 4 R および 5 4 L を含む。なお、右の眼球部 7 4 R および左の眼球部 7 4 L をまとめて眼球部 7 4 といい、右の眼カメラ 5 4 R および左の眼カメラ 5 4 L をまとめて眼カメラ 5 4 ということもある。眼カメラ 5 4 は、ロボット 1 2 に接近した人の顔や他の部分ないし物体等を撮影してその映像信号を取り込む。

【 0 0 4 1 】

なお、上述の全方位カメラ 5 2 および眼カメラ 5 4 のいずれも、たとえば CCD や CMOS のような固体撮像素子を用いるカメラであってよい。

【 0 0 4 2 】

たとえば、眼カメラ 5 4 は眼球部 7 4 内に固定され、眼球部 7 4 は眼球支持部（図示せず）を介して頭部 7 0 内の所定位置に取り付けられる。眼球支持部は、2 軸の自由度を有し、 α 軸および β 軸の各軸廻りに角度制御可能である。 α 軸および β 軸は頭部 7 0 に対して設定される軸であり、 α 軸は頭部 7 0 の上へ向かう方向の軸であり、 β 軸は α 軸に直交しかつ頭部 7 0 の正面側（顔）が向く方向に直交する方向の軸である。この実施例では、頭部 7 0 がホームポジションにあるとき、 α 軸は S 軸に平行し、 β 軸は U 軸に平行するように設定されている。このような頭部 7 0 において、眼球支持部が α 軸および β 軸の各軸廻りに回転されることによって、眼球部 7 4 ないし眼カメラ 5 4 の先端（正面）側が変位され、カメラ軸すなわち視線方向が移動される。

【 0 0 4 3 】

なお、眼カメラ 5 4 の変位を制御する α 軸および β 軸では、「0 度」がホームポジションであり、このホームポジションでは、図 2 に示すように、眼カメラ 5 4 のカメラ軸は頭部 7 0 の正面側（顔）が向く方向に向けられ、視線は正視状態となる。

【 0 0 4 4 】

図 3 には、ロボット 1 2 の内部構成を示すブロック図が示される。この図 3 に示すように、ロボット 1 2 は、全体の制御のためにマイクロコンピュータまたは CPU 7 6 を含み、この CPU 7 6 には、バス 7 8 を通して、メモリ 8 0、モータ制御ボード 8 2、センサ入力／出力ボード 8 4 および音声入力／出力ボード 8 6 が接続される。

【 0 0 4 5 】

メモリ 8 0 は、図示しないが、ROM や HDD、RAM 等を含み、ROM または HDD にはこのロボット 1 2 の制御プログラムおよびデータ等が予め格納されている。CPU 7 6 は、このプログラムに従って処理を実行する。具体的には、ロボット 1 2 の身体動作を

10

20

30

40

50

制御するための複数のプログラム（行動モジュールと呼ばれる。）が記憶される。たとえば、行動モジュールが示す身体動作としては、「握手」、「抱っこ」、「指差し」...などがある。行動モジュールが示す身体動作が「握手」である場合には、当該行動モジュールを実行すると、ロボット12は、たとえば、右手を前に差し出す。また、行動モジュールが示す身体動作が「抱っこ」である場合には、当該行動モジュールを実行すると、ロボット12は、たとえば、両手を広げた状態で前に差し出し、人間が近づくと、両手を閉じる。さらに、行動モジュールが示す身体動作が「指差し」である場合には、当該行動モジュールを実行すると、ロボット12は、たとえば、右手（右腕）または左手（左腕）で所望の方向を指示する。また、RAMは、一時記憶メモリとして用いられるとともに、ワーキングメモリとして利用され得る。

10

【0046】

モータ制御ボード82は、たとえばDSP(Digital Signal Processor)で構成され、右腕、左腕、頭および眼等の身体部位を駆動するためのモータを制御する。すなわち、モータ制御ボード82は、CPU76からの制御データを受け、右肩関節56RのX、YおよびZ軸のそれぞれの角度を制御する3つのモータと右肘関節60RのW軸の角度を制御する1つのモータを含む計4つのモータ（図3ではまとめて、「右腕モータ」として示す。）88の回転角度を調節する。また、モータ制御ボード82は、左肩関節56LのA、BおよびC軸のそれぞれの角度を制御する3つのモータと左肘関節60LのD軸の角度を制御する1つのモータを含む計4つのモータ（図3ではまとめて、「左腕モータ」として示す。）90の回転角度を調節する。モータ制御ボード82は、また、首関節68のS、TおよびU軸のそれぞれの角度を制御する3つのモータ（図3ではまとめて、「頭部モータ」として示す。）92の回転角度を調節する。モータ制御ボード82は、また、腰モータ50、および車輪34を駆動する2つのモータ（図3ではまとめて、「車輪モータ」として示す。）36を制御する。さらに、モータ制御ボード82は、右眼球部74Rの α 軸および β 軸のそれぞれの角度を制御する2つのモータ（図3ではまとめて、「右眼球モータ」として示す。）94の回転角度を調節し、また、左眼球部74Lの α 軸および β 軸のそれぞれの角度を制御する2つのモータ（図3ではまとめて、「左眼球モータ」として示す。）96の回転角度を調節する。

20

【0047】

なお、この実施例の上述のモータは、車輪モータ36を除いて、制御を簡単化するためにそれぞれステッピングモータまたはパルスモータであるが、車輪モータ36と同様に、直流モータであってよい。

30

【0048】

センサ入力/出力ボード84も、同様に、DSPで構成され、各センサやカメラからの信号を取り込んでCPU76に与える。すなわち、超音波距離センサ42の各々からの反射時間に関するデータがこのセンサ入力/出力ボード84を通して、CPU76に入力される。また、全方位カメラ52からの映像信号が、必要に応じてこのセンサ入力/出力ボード84で所定の処理が施された後、CPU76に入力される。眼カメラ54からの映像信号も、同様にして、CPU76に与えられる。また、タッチセンサ64からの信号がセンサ入力/出力ボード84を介してCPU76に与えられる。

40

【0049】

スピーカ72には音声入力/出力ボード86を介して、CPU76から、合成音声データが与えられ、それに従って、スピーカ72からはそのデータに従った音声または声が出力される。また、マイク24からの音声入力、音声入力/出力ボード86を介してCPU76に取り込まれる。

【0050】

また、CPU76には、バス78を通して、通信LANボード98が接続される。この通信LANボード98も、同様に、DSPで構成され、CPU76から与えられた送信データを無線通信装置100に与え、無線通信装置100から送信データを送信させる。また、通信LANボード98は無線通信装置100を介してデータを受信し、受信データを

50

C P U 7 6 に与える。

【 0 0 5 1 】

さらに、C P U 7 6 には、バス 7 8 を通して、データベース 1 0 2 が接続される。図示は省略するが、データベース 1 0 2 には、後述するインタラクションパラメータ ① が対応する人物（人間 1 4 等）の名称ないしは識別情報（タグ情報，識別番号）とともに記憶される。また、人物の識別情報に対応して、ロボット 1 2 の眼カメラ 5 4 で撮影した人物の顔画像および全身画像から推定した身長値も記憶される。これは、後述するように、インタラクション相手に応じて、インタラクションパラメータ ① の初期値を設定するようにしてあるためである。

【 0 0 5 2 】

なお、この実施例では、データベース 1 0 2 をロボット 1 2 内部に設けるようにしてあるが、ロボット 1 2 の外部に通信可能に設けるようにしてもよい。

【 0 0 5 3 】

図 1 に戻って、システム 1 0 はモーションキャプチャシステム 2 0 を含む。モーションキャプチャシステム（3次元動作計測装置）2 0 としては、公知のモーションキャプチャシステムが適用される。たとえば、V I C O N 社(<http://www.vicon.com/>)の光学式のモーションキャプチャシステムを用いることができる。図示は省略するが、モーションキャプチャシステム 2 0 は、P C 或いは W S のようなコンピュータを含み、このコンピュータとロボット 1 2 とが、有線または無線 L A N（図示せず）によって互いに接続される。

【 0 0 5 4 】

図 4 を用いて具体的に説明すると、モーションキャプチャシステム 2 0 においては、複数（少なくとも 3 つ）の赤外線照射機能を有するカメラ 2 0 a が、空間ないし環境に存在するロボット 1 2 および人間 1 4 に対して異なる方向に配置される。ロボット 1 2 および人間 1 4 には、複数（この実施例では、4 個）の赤外線反射マーカ 3 0 が取り付けられる。具体的には、図 4 から分かるように、赤外線反射マーカ 3 0 は、ロボット 1 2 および人間 1 4 共に、眼の上（額）と肩とに取り付けられる。これは、この実施例では、ロボット 1 2 および人間 1 4 の位置（3次元位置）および顔（視線）の方向を検出するためである。ただし、位置や顔の方向を正確に検出するために、さらに他の部位に赤外線反射マーカ 3 0 を取り付けようにしてもよい。

【 0 0 5 5 】

モーションキャプチャシステム 2 0 のコンピュータは、カメラ 2 0 a から画像データをたとえば 6 0 H z（1 秒間に 6 0 フレーム）で取得し、画像データを画像処理することによって、その計測時の全ての画像データにおける各マーカ 3 0 の 2 次元位置を抽出する。そして、コンピュータは、画像データにおける各マーカ 3 0 の 2 次元位置に基づいて、実空間における各マーカ 3 0 の 3 次元位置を算出するとともに、ロボット 1 2 および人間 1 4 の顔の方向も算出する。次いで、コンピュータは、算出した 3 次元位置の座標データ（位置データ）および顔の方向データを、ロボット 1 2（C P U 7 6）からの要求に応じてロボット 1 2 に送信する。

【 0 0 5 6 】

ロボット 1 2 は、モーションキャプチャシステム 2 0 から送信される座標データおよび方向データを取得し、自身および人間 1 4 の 3 次元位置を取得する。そして、ロボット 1 2 は、自身を中心（原点）とした場合（ロボット座標）における、人間 1 4 の位置（距離）を検出（算出）する。また、ロボット 1 2 は、方向データに基づいて、人間 1 4 がロボット 1 2 の顔を見ているかどうかを判断する。

【 0 0 5 7 】

このような構成のロボット 1 2 は、上述したように、人間 1 4 との間でコミュニケーションする場合には、身体動作（ジェスチャ）および音声（発話）の少なくとも一方を用いたインタラクション行動を行う。たとえば、ロボット 1 2 は、自身に対する人間 1 4 のジェスチャや発話を検出して、そのようなインタラクション行動を決定する。

【 0 0 5 8 】

10

20

30

40

50

ここで、人と人とのコミュニケーションについて考察すると、自然な（快適な）コミュニケーションを行うためには、相手への適応が重要である。たとえば、人が快適に過ごすためには、適度なパーソナルスペースが必要であり、コミュニケーションの内容により異なる。また、視線を合わせる頻度が人により異なることも知られている。快適なパーソナルスペースや視線頻度は人により異なるが、人はコミュニケーション相手に合わせ、互いに快適さを保っている。たとえば、相手が近すぎると感じれば少し離れ、見つめられ過ぎると感じれば視線を反らす。こういった適応を人は無意識に行っている。

【 0 0 5 9 】

したがって、ロボット 1 2 と人間 1 4 とがインタラクション（コミュニケーション）する場合には、ロボット 1 2 が、相手に合わせて、適切なパーソナルスペースを確保したり、視線を合わせる頻度を個人に合わせてたりする必要がある。

10

【 0 0 6 0 】

また、人とロボットとの間のインタラクションにおいて、身体動作を解析した研究(T. Kanda, H. Ishiguro, M. Imai, and T. Ono. Body Movement Analysis of Human-Robot Interaction. In Int. Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI 2003), pp. 177-182, 2003)によると、ロボットの振る舞いに好印象を持つ被験者はロボットに顔を向ける傾向があり、インタラクション中の移動距離も短い傾向が見られている。また、パートナーの動きが緩慢で退屈である場合や、速過ぎて理解できない場合にも他に顔を向けると考えるのは自然である。

20

【 0 0 6 1 】

以上より、ロボット 1 2 とのインタラクションにおいて、人の快・不快が無意識に移動距離とロボットに顔を向ける時間とに現れる（いずれか一方でも可。）と仮定して、報酬関数（図 5 参照）を設計した。ここで、ロボット 1 2 のインタラクション行動についてのパラメータ（インタラクションパラメータ） θ としては、3 種の対人距離（親密距離、個体距離、社会距離）、人の顔の方向にカメラ（眼カメラ 5 4）を向ける時間の長さ、発話からモーション再生までの遅れ時間、モーションの速度である。ロボット 1 2 は、報酬関数の演算により得られる報酬を最大化するように、方策勾配型強化学習（policy gradient reinforcement learning : P G R L）により、パラメータ θ を学習し、インタラクションパートナー（ここでは、人間 1 4）に個人適応する。どのようなパラメータ θ が適切であるかを直接得ることが出来ないため、学習方法として教師なし学習が必要である。これは、たとえば、個々に適切と思う対人距離（パーソナルスペース等）が異なるからである。また、人とのインタラクションにおいて学習するためには収束が速いことも重要であることから、方策勾配型強化学習が用いられる。

30

【 0 0 6 2 】

報酬関数は、ロボット 1 2 の C P U 7 6 によってソフト的に処理される。その機能的なブロック図が図 5 に示される。図 5 を参照して、報酬関数 2 0 0 は、入力端子 P 1 および P 2 を含む。この入力端子 P 1 および P 2 には、モーションキャプチャシステム 2 0 から入力された位置データがそのまま入力される。ただし、後述するように、1 つのインタラクション行動が実行される毎に、報酬関数 2 0 0 による演算を実行するようにしてあるため、入力端子 P 1 および P 2 には、1 つのインタラクション行動を実行中に得られた、時間変化に従う位置データが入力されるのである。

40

【 0 0 6 3 】

入力端子 P 1 に入力された位置データは、フィルタ部 2 0 2 でノイズ除去される。たとえば、フィルタ部 2 0 2 は、5 Hz の L P F であり、位置データに含まれる高域成分を除去する。これは、細かい人間 1 4 の身体の揺れを移動距離に含めないためである。高域成分が除去された位置データは積分部 2 0 4 で積分される。つまり、人間 1 4 の移動距離が算出される。そして、積分部 2 0 4 の出力に、正規化 / 重み付け部 2 0 6 で、正規化および重み付けが施され、加算器 2 0 8 に反転して入力される。これは、上述したように、インタラクション中における人間 1 4 の移動量は、インタラクションを不快に感じていると考えられ、報酬としてはマイナス要因だからである。

50

【 0 0 6 4 】

一方、入力端子 P 2 に入力された位置データは、首角度算出部 2 1 0 に与えられ、首角度算出部 2 1 0 によってロボット 1 2 に対する人間 1 4 の首角度が算出される。厳密に言う、ロボット 1 2 の顔に対する人間 1 4 の顔の向きが算出されるのである。人間 1 4 の首角度が算出されると、閾値処理部 2 1 2 で、所定の角度（この実施例では、 10° ）以下であるかどうか判断される。つまり、人間 1 4 がロボット 1 2 の顔を見ているかどうか判断される。ここで、図 6 に示すように、ロボット 1 2 と人間 1 4 とが対面しているとき、ロボット 1 2 と人間 1 4 とを結ぶ直線（線分）に対して人間 1 4 の顔の方向がなす角度が 10° 以下である場合には、人間 1 4 がロボット 1 2 の顔を見ていると判断するようにしてある。ただし、人間 1 4 がロボット 1 2 の顔を見ているかどうかを厳密に判断する場合には、人間 1 4 の視線方向も検出する必要があると考えられる。そして、閾値処理部 2 1 2 では、首角度算出部 2 1 0 によって算出された首角度が 10° 以下である場合には、閾値処理部 2 1 2 で、その時間が加算される。つまり、インタラクション中に、人間 1 4 がロボット 1 2 の顔を見ている時間の合計が算出されるのである。そして、閾値処理部 2 1 2 の出力に、正規化 / 重み付け部 2 1 4 で、正規化および重み付けが施され、加算器 2 0 8 にそのまま入力する。これは、上述したように、インタラクション中における人間 1 4 がロボット 1 2 の顔を見る時間は、インタラクションを快いと感じていると考えられ、報酬としてはプラス要因だからである。そして、加算器 2 0 8 の結果が報酬取得部 2 1 6 に与えられる。

10

【 0 0 6 5 】

なお、この実施例においては、正規化 / 重み付け部 2 0 6 および 2 1 4 における重み付けは、簡単のため、1 対 1 となるようにした。ただし、対人距離またはロボットに顔を向ける時間のいずれか一方に基づいて、報酬すなわちインタラクション中における快適さを知ることができるため、たとえば、1 対 0 や 0 対 1 で重み付けするようにしてもよい。

20

【 0 0 6 6 】

また、この実施例では、対人距離およびロボットに顔をむける時間に基づいて、インタラクションの快適さを知るようにしてあるが、これに限定される必要はない。たとえば、人間の足音の大小、人間がいわゆる貧乏ゆすりをしているか否か、または、人間の顔の表情（笑い（柔らかい）、辛い（硬い））によって、インタラクションの快適さを知ることができる。たとえば、人間の足音はいらいらに関係し、足音が小さければ、いらいらしておらず、インタラクションが快適であると言え、逆に、足音が大きければ、いらいらしており、インタラクションが不快であると言える。ただし、人間の足音は、騒音計により検出することができる。また、人間が貧乏ゆすりをしているか否か、および人間の顔の表情は、画像認識技術を用いることにより検出することができる。

30

【 0 0 6 7 】

このような報酬関数 2 0 0 による演算は、インタラクションにおいて、ロボット 1 2 がインタラクション行動を実行する毎に実行される。そして、人間 1 4 がインタラクションを快いと感じるように、ロボット 1 2 のインタラクションパラメータ θ を強化学習により求める。

【 0 0 6 8 】

ここで、Q 学習に代表される強化学習では、最適な振る舞い(政策ないし方策)を学習するために、出来るだけ広範囲の空間を探索し、あらゆる方策を試行する。そのため、学習結果はグローバルに最適なものが得られるが探索には長期間かかってしまう。それに対し方策勾配型強化学習（または、方策勾配法による強化学習）では、現在の方策を、報酬を得られる方向へ修正していくことで局所最適解を求める。報酬から方策を直接変化させるので、報酬伝播の遅れが少なく学習時間が短い特長がある。この実施例では、インタラクション開始以降は、センサによってインタラクションを変化させないオープンループシステムの方策勾配型強化学習を採用した。

40

【 0 0 6 9 】

具体的には、図 7 および図 8 で示すフロー図に従って全体処理を実行し、その中で強化

50

学習を実行し、インタラクションパラメータ θ を更新するようにしてある。ここで、この実施例における方策勾配型強化学習のアルゴリズムについて簡単に説明する。学習には、まず現在の方策すなわちインタラクションパラメータ θ を少し変動させたT通りの方策 θ_{ij} を用意する。方策 θ_{ij} は、インタラクションパラメータ θ の各成分 θ_j にランダムに ε_j , 0 , $-\varepsilon_j$ のいずれかを加えて生成する。ただし、変動ステップサイズ ε_j はパラメータ(インタラクションパラメータ θ の成分) θ_j 毎に異なる値でよい。

【0070】

次に、それぞれの方策 R_i に従ってインタラクションをT回行い、報酬を得る。T通りの方策 θ_{ij} すべてについてインタラクションを行った後、報酬関数200のインタラクションパラメータ θ に対する勾配Aを近似的に求める。各パラメータ θ_j について、 ε_j を加えた時の平均報酬、 0 を加えた時の平均報酬、 $-\varepsilon_j$ を加えた時の平均報酬を、それぞれ求める。

10

【0071】

0 を加えた時の平均報酬が最も大きい場合には、各パラメータ θ_j についての勾配Aは 0 とする。一方、 0 を加えた時の平均報酬が最も大きくない場合には、各パラメータ θ_j についての勾配Aは、 ε を加えた時の平均報酬と $-\varepsilon$ を加えた時の平均報酬との差とする。勾配Aを求めた後、勾配Aを正規化して、 η を掛けたものに、各成分に ε_j の重みをつけ、インタラクションパラメータ θ を更新する。このT回のインタラクションとインタラクションパラメータ θ の更新が1ステップである。これを繰り返すことで、報酬が極大となる、つまり人間14が快いと感じるインタラクション行動を実行できる、インタラクションパラメータ θ に更新される。

20

【0072】

図7に示すように、CPU76は、全体処理を開始すると、ステップS1で、インタラクションの相手(たとえば、人間14)が過去にインタラクションしたことがある人物であるかどうかを判断する。図示は省略するが、たとえば、人間14にタグを装着させて、タグの受信機をロボット12に設けておき、データベース102を参照して、タグの識別情報(タグ情報または番号)に対応する人物についてのインタラクションパラメータ θ が記憶されているかどうかを判断する。ここで、その人物についてのインタラクションパラメータ θ が記憶されている場合には、過去にインタラクションしたことがあると判断することができる。一方、その人物についてのインタラクションパラメータ θ が記憶されていない場合には、過去にインタラクションしたことがないと判断することができる。

30

【0073】

ステップS1で“YES”であれば、つまり過去にインタラクションしたことがあれば、ステップS3で、インタラクションパラメータ θ をデータベース102から読み出し、変数 θ に代入して、ステップS11に進む。一方、ステップS1で“NO”であれば、つまり過去にインタラクションしたことがなければ、ステップS5で、インタラクションの相手に似た人物とインタラクションした経験があるかどうかを判断する。

【0074】

この実施例では、似た人物か否かは、人物の顔(主に形状)と身長とに基づいて判断される。人物の顔や身長は、ロボット12に設けられた眼カメラ54の撮影画像(顔画像および全身画像)に基づいて判断(推定)される。上述したように、インタラクションした人物についての顔画像と推定した身長とを、タグ情報に対応してデータベース102に記憶しておくので、現在インタラクションしている人物の顔画像および推定した身長と比較することにより、似た人物が存在するかどうかを判断することができる。つまり、似た人物とインタラクションした経験があるかどうかを判断することができるのである。

40

【0075】

ステップS5で“YES”であれば、つまり似た人物とインタラクションした経験があれば、ステップS7で、似た人物のインタラクションパラメータ θ をデータベース102から読み出し、変数 θ に代入して、ステップS11に進む。一方、ステップS5で“NO”であれば、つまり似た人物とインタラクションした経験がなければ、ステップS9で、平

50

均的なインタラクシオンパラメータ θ をデータベース102から読み出し、変数 θ に代入して、ステップS11に進む。ここで、平均的なインタラクシオンパラメータ θ は、たとえば、データベース102に記憶してあるすべてのインタラクシオンパラメータ θ の平均値である。

【0076】

なお、図示は省略するが、初めて全体処理を実行する場合には、インタラクシオンパラメータ θ はデータベース102に記憶されていないため、ユーザによって初期値が設定（入力）される。

【0077】

ステップS11では、インタラクシオン回数 i を初期化（ $i = 1$ ）する。続くステップS13では、変数 θ に基づいて今回試すインタラクシオンパラメータ θ_i の決定処理（図9参照）を実行する。なお、この決定処理については、後で詳細に説明するため、ここではその詳細な説明は省略する。次に、ステップS15では、インタラクシオン行動を実行する。ただし、ここでは、予め用意されている複数のインタラクシオン行動のうち、いずれか1つのインタラクシオン行動がランダム（所定のルール）或いは人間14の振る舞いに応じて選択的に実行される。

【0078】

続いて、ステップS17では、インタラクシオンの評価を算出し、変数 R_i に代入する。ここで、インタラクシオンの評価は、上述した報酬関数200（図5）に従って求められる報酬である。図8に示すように、次のステップS19では、インタラクシオン回数 i を1加算（ $i = i + 1$ ）する。そして、ステップS21では、インタラクシオン回数 i が所定回数 T （たとえば、10）を超えたかどうかを判断する。ステップS21で“NO”であれば、つまりインタラクシオン回数 i が所定回数以下であれば、図7に示したステップS13に戻る。一方、ステップS21で“YES”であれば、つまりインタラクシオン回数 i が所定回数 T を超えていれば、ステップS23で、インタラクシオンパラメータ θ の更新処理（図10参照）を実行して、ステップS25で、インタラクシオンの終了かどうかを判断する。ここでは、たとえば、インタラクシオンの終了指示が入力されたり、一定時間が経過したりしたかを判断しているのである。

【0079】

ステップS25で“NO”であれば、つまりインタラクシオンの終了でなければ、図7に示したステップS11に戻る。一方、ステップS25で“YES”であれば、つまりインタラクシオンの終了であれば、更新された変数 θ を、インタラクシオン相手に対応するインタラクシオンパラメータ θ として、データベース102に登録（更新）して、全体処理を終了する。

【0080】

図9は、図7に示したステップS13の今回試すインタラクシオンパラメータ θ_i の決定処理を示すフロー図である。この図9を参照して、CPU76は、今回試すインタラクシオンパラメータ θ_i の決定処理を開始すると、ステップS41で、変数 j に初期値を設定する（ $j = 1$ ）。続くステップS43では、 $0, \varepsilon_j, -\varepsilon_j$ からランダムに1つ選択し、変数 Δ に代入する。次のステップS45では、今回試すインタラクシオンパラメータ θ_i の第 j 番目の成分 θ_{ij} を算出する（ $\theta_{ij} = \theta_j + \Delta$ ）。続いて、ステップS47で、変数 j をインクリメントする（ $j = j + 1$ ）。そして、ステップS49で、変数 j がインタラクシオンパラメータ θ （インタラクシオンパラメータベクトル）の大きさ（全成分 θ_j の個数） n を超えているかどうかを判断する。ステップS49で“NO”であれば、つまり変数 j がインタラクシオンパラメータ θ の大きさ n 以下であれば、そのままステップS43に戻る。一方、ステップS49で“YES”であれば、つまり変数 j がインタラクシオンパラメータ θ の大きさ n を超えていれば、今回試すインタラクシオンパラメータ θ_i を決定したと判断して、今回試すインタラクシオンパラメータ θ_i の決定処理をリターンする。

【0081】

10

20

30

40

50

図10は、図8に示したステップS23におけるインタラクションパラメータ θ の更新処理を示すフロー図である。図10を参照して、CPU76は、インタラクションパラメータ θ の更新処理を開始すると、ステップS61で、変数 j に初期値を設定する($j = 1$)。続くステップS63では、今回試したインタラクションパラメータ θ_i について、 θ_{ij} を θ_j とした場合の平均報酬 R_0 、 θ_{ij} を $\theta_j + \varepsilon_j$ とした場合の平均報酬 R_1 、 θ_{ij} を $\theta_j - \varepsilon_j$ とした場合の平均報酬 R_2 を、それぞれ求める。ただし、 θ_j はインタラクションパラメータ(ベクトル) θ の第 j 成分であり、 θ_{ij} はインタラクションパラメータ θ_i の第 j 成分であり、 ε_j はインタラクションパラメータ θ の第 j 成分を変動させる値である。

【0082】

10

次にステップS65では、ステップS63で算出した R_0 、 R_1 、 R_2 を用いて、 $R_0 > R_1$ であり、かつ $R_0 > R_2$ であるかどうかを判断する。ステップS65で“YES”であれば、つまり $R_0 > R_1$ であり、かつ $R_0 > R_2$ であれば、ステップS65で、勾配Aの第 j 成分 a_j に0を設定($a_j = 0$)して、ステップS71に進む。一方、ステップS65で“NO”であれば、つまり $R_0 \leq R_1$ および $R_0 \leq R_2$ の少なくとも一方を満たしていれば、ステップS69で、勾配Aの第 j 成分 a_j に平均報酬 R_1 と平均報酬 R_2 の差分($a_j = R_1 - R_2$)を設定して、ステップS71に進む。

【0083】

ステップS71では、変数 j をインクリメントする。そして、ステップS73では、変数 j がインタラクションパラメータ θ の大きさ n を超えているかどうかを判断する。ステップS71で“NO”であれば、つまり変数 j がインタラクションパラメータ θ の大きさ n を超えていれば、ステップS63に戻る。一方、ステップS73で“YES”であれば、つまり変数 j がインタラクションパラメータ θ の大きさ n 以下であれば、ステップS75で、勾配Aを正規化($A = A / |A|$)する。続くステップS77では、勾配Aの第 j 成分 a_j を更新($a_j = a_j \times \varepsilon_j \times \eta$)する。ただし、 η はスカラーであり、全体としての更新の大きさを決定するパラメータである。そして、ステップS79で、インタラクションパラメータ θ を更新($\theta = \theta + A$)して、インタラクション θ の更新処理をリターンする。

20

【0084】

このような構成のロボット12を実際に人間(被験者)との間でインタラクションさせて、インタラクションパラメータ θ を更新させるとともに、被験者がロボット12とのインタラクションから受けた印象(快・不快)等から強化学習によるパラメータ θ の適応度を実験により検証した。上述したように、インタラクションパラメータ θ は、3種類の対人距離(親密距離、個体距離、社会距離)、人の顔の方向に眼カメラ54を向ける時間の長さ(注視時間)、発話からモーション再生(インタラクション行動の開始)までの遅れ時間、モーション再生速度である。ロボット12に用意するすべてのモーション(インタラクション行動)は、対人距離によって分類し(図12参照)、同じ分類に含まれるインタラクション行動では、同じ距離を用いた。1つのモーションに関するインタラクションパラメータ θ は距離、注視時間、遅れ時間、再生速度の4つの要素(パラメータ θ_j)である。適応するパラメータ θ_j を多くすると、学習に時間がかかってしまうため、インタラクションに大きな影響があると考えられる。また、パラメータ θ_j は可能な限り少ない方が、実装が容易であるため、上述したようなパラメータ θ_j を選択することとした。

30

40

【0085】

また、人とロボット12との距離(対人距離)は、それぞれの額間の水平距離とした。ロボット12は5秒を1周期として、人の顔を見て、他の方向を向く。注視時間は、この人の顔を見る時間の5秒に対する割合とした。ここで、5秒を1周期としたのは、人と人とのインタラクションにおける注視の周期に合わせたためである。遅れ時間は、たとえばロボット12が「握手してね」と発話してから、手を出すモーションを再生するまでの時間である。再生速度はモーションを作成した際の動きの速さを1としてある。

【0086】

50

実験は、モーションキャプチャシステム 20 を有する実験室において、精度良くモーションキャプチャが行える中央の所定範囲（ 4.5×3.5 (m)）で行った。図 11 に示すように、12 台のカメラ 20a からなるモーションキャプチャシステム 20 が備えられている。ただし、図 11 においては、簡単のため、カメラ 20a 以外のコンピュータ等は省略してある。このような構成で、実験領域内では 1 (mm) 程度の測定精度がある。上述したように、マーカ 30 が被験者（人間 14）とロボット 12 の額と肩とに取り付けられ、そのマーカ 30 からそれぞれの額の位置および方向を求めた。モーションキャプチャにより求められた位置と方向はロボット 12 に LAN のようなネットワークを介して送り、ロボット 12 の動作決定と報酬関数 200 の計算に用いた。実験中では、通信による時間遅れは 0.1 秒以内であり、この通信による遅れは無視することができた。

10

【0087】

図 12 には、実験のために用意したロボット 12 の振る舞い（インタラクシオン行動）についての第 1 テーブルが示される。図 12 を参照して分かるように、インタラクシオン行動としては、抱っこ (Hug)、握手 (Shake hands)、どこから来たの？ (Ask where person comes from)、ロボピー（ロボット 12 の商品名）ってかわいい？ (Ask if robot is cute)、触ってね (Ask person to touch robot)、じゃんけん (Play paper-scissors-stone)、あっちむいてほい (Play pointing game)、運動 (Perform arm-swinging exercise)、自己紹介 (Hold “thank you” monologue)、相手を見る (just looking) の 10 通りである。これらのインタラクシオンを、親密距離 (intimate distance)、個体距離 (personal distance)、社会距離 (social distance) の 3 つの対人距離に、予備実験により分類した。なお、分類の予備実験では、8 名の被験者を集めて、ロボット 12 の位置を固定し、各被験者に、それぞれのインタラクシオンに適していると考えた距離に移動してもらい、その距離を測定した。被験者間で多少の距離の差は見られたが、分散は小さく、分類に影響するほどではなかった。

20

【0088】

次に実験の手順について説明する。実験開始時に、ロボット 12 は、モーションキャプチャシステム 20 の測定領域の中央に存在し、被験者はロボット 12 の正面に立った状態から、リラックスして自然な気持ちでロボット 12 とインタラクシオンするよう求められた。モーションキャプチャシステム 20 の測定範囲内に存在することを要求した以外は、被験者に対してインタラクシオンについて何も要求していない。

30

【0089】

実験においては、ロボット 12 と各被験者との間で、約 30 分間のインタラクシオンを行った。この 30 分の間に、上述した 10 個のインタラクシオン行動をランダムに実行した。詳細な説明は省略するが、いずれのインタラクシオン行動を実行する場合にも、ロボット 12 は、その腕や頭の動きを伴う。つまり、身体動作を伴うのである。たとえば、抱っこ (hug) では、ロボット 12 が「抱っこしてね」と発声し、腕を広げ、これに応じて、人（被験者）がロボット 12 の正面の適当な位置（距離）に立つと、その後、腕で当該人に抱きつく。30 分間のインタラクシオンを行い、上述したような強化学習を行った。また、上述したように、報酬関数 200 はロボット 12 が 1 つのインタラクシオン行動を終了（約 10 秒）する毎に計算される。インタラクシオンパラメータ θ の各成分（パラメータ θ_j ）を少しずつ変化させ、T 回（この実施例では、10 回）のインタラクシオンが終了すると、報酬からインタラクシオンパラメータ θ の変動方向（勾配 A）を決定し、インタラクシオンパラメータ θ を更新した。図 13 には、各パラメータ θ_j に対応して、各々の初期値およびステップサイズを示す第 2 テーブルが示される。具体的には、パラメータ「親密距離」では、初期値が 50 (cm) であり、ステップサイズが 15 (cm) である。パラメータ「個体距離」では、初期値が 80 (cm) であり、ステップサイズが 15 (cm) である。パラメータ「社会距離」では、初期値が 100 (cm) であり、ステップサイズが 15 (cm) である。パラメータ「注視時間」では、初期値が 0.7 であり、ステップサイズが 0.1 である。パラメータ「遅れ時間」では、初期値が 0.17 (s) であり、ステップサイズが 0.3 (s) である。パラメータ「再生速度」では、初期値が 1.0

40

50

であり、ステップサイズが 0.1 である。

【0090】

インタラクション後、被験者にロボット 12 の動きとインタラクションについて、ロボット 12 の動き、距離、視線の合わせ方の印象と、実験中それらがどのように変化していったかを聞き、個人距離の測定を行った。親密距離、個体距離、社会距離、それぞれについてモーションを行っているロボット 12 の正面の適当と感じる位置へ被験者に立ってもらい、モーションキャプチャシステム 20 で距離を測定した。ここでは、注視時間 0.75、遅れ時間 0.3 (s)、再生速度 1.0 とし、親密距離についてはインタラクション「抱っこ」を用い、個体距離についてはインタラクション「握手」を用い、社会距離についてはインタラクション「ありがとう(Hold “thank you” monologue)」を用いた。また、適当と感じる距離からロボット 12 を近づけた場合と、逆にロボット 12 を遠ざけた場合とで、被験者が距離を適切でないと感じる位置を測定した。

【0091】

さらに、1つのパラメータ θ_j のみを低、中、高と 3 通りに変化させ、他のパラメータ θ_j を全被験者の平均値に固定した場合のロボット 12 のインタラクションモーションを被験者に見せ、適切と感じるものを選択してもらった。注視時間と再生速度の測定には、「ありがとう」のモーションを用い、人との距離は 1.0 (m) とした。遅れ時間の測定には、「抱っこ」のモーションを用い、距離についてはロボット 12 の移動を止めて、被験者に適切と思われる位置に立ってもらった。これは、親密距離は個人差が大きかったためである。被験者の中には、複数の値で適切であると感じた者や中間の値が適切であると

【0092】

このような実験を 15 名の被験者に対して行った。被験者は、1 名を除き、日本人で、全員がロボット 12 の発話を聞き取ることが出来た。被験者の年齢は 20 才から 35 才で、多くは 20 才から 25 才であった。また、被験者のうち、6 名が女性で、残りは男性であった。ただし、被験者の中に、ロボット 12 について知っている者が多少いた。

【0093】

被験者のうち、3 名は我々が期待したようには振舞わなかった。具体的には、ロボット 12 のインタラクションが適当なものであっても、そうでなくても、顔の方向を変えたり、立ち位置を変えることなく、感想を言葉でロボット 12 或いは実験者に述べたり、顔に表出したりするのみであった。このような被験者は、想定しているインタラクション評価モデルには当てはまらず、システム 10 (強化学習の処理) は正しく動作しない。したがって、以下に説明する実験結果においては、これら被験者 (3 名の被験者) の結果を除いている。それ以外の多くの被験者に対しては、15 分から 20 分 (約 10 回の P G R L のパラメータ更新) で適切な値にインタラクションパラメータ θ が収束した。

【0094】

図 14 (A), (B), (C) には、12 名の被験者の距離 (親密距離、個体距離、社会距離) について、適応の結果得られた値と被験者が適当と判断した値を示す。距離に関しては、全インタラクション最後の 1/4 の期間 (約 7 分半) の平均を示している。これは P G R L が常に極所最適値を探索しているためである。図 14 (A) ~ (C) において、「*」印が適応した結果であり、縦棒は被験者を示し、横棒のうち短い棒は許容限度 (許容範囲) を示し、横棒のうち長い棒は最適とした値 (最適値) を示す。

【0095】

図 15 (A), 図 15 (B) および図 15 (C) は、注視時間 (motion meeting ratio)、遅れ時間 (waiting time)、モーション再生速度 (motion speed) についての結果を示す。図 15 (A) ~ 図 15 (C) において、「○」印は被験者が適当と判断した値であり、「*」印は適応結果 (全インタラクション最後の 1/4 の期間の平均) である。ただし、2つの値の中間が適当とした被験者については、中間に「」印を記してある。図 14 (A) ~ 図 14 (C) および図 15 (A) ~ 図 15 (C) から、被験者の判断との一致度合はパラメータ θ_j によって大きく異なると言える。これは、それぞれのパラメータ θ_j のインタ

ラクションへの重要性が異なり、報酬へ寄与の大きいパラメータ θ_j から収束し、許容範囲の広いパラメータ θ_j の収束は遅くなるためである。

【0096】

また、ロボット12がよく適応できていた被験者の印象には、パラメータ θ_j の変化があまり含まれない傾向があった。これは、自然な適応が行われると、パラメータ θ_j の適応が認識されなくなる可能性を示唆している。

【0097】

図16は、各パラメータ θ_j の最適とされる値（最適値）からの分散を12名の被験者について平均した第3テーブルを示す。分散は、全インタラクションについての最後の1/4期間について計算した。これは、最後の1/4期間中におけるパラメータ θ_j の変動の影響を分散に含めるためである。また、各パラメータ θ_j は、その更新のステップサイズが1になるように正規化している。なお、図16の第3テーブルでは、参考のため、右端に初期値の分散を示している。第3テーブルからも分かるように、個人距離、社会距離を除いて、ステップサイズの1.1倍以下になっている。許容される範囲は、個人距離についてはステップサイズの3倍であり、社会距離に関しては5倍であった。社会距離に関しては、1人の被験者を除き、適応結果は許容範囲に入った。したがって、PGR Lに基づいた適応により各パラメータ θ_j は適切な値に収束したと言える。より誤差を小さくするには、ステップサイズをより小さくしたり、適応が進むにつれて徐々に小さくしたりする必要があると考えられる。

【0098】

また、第3テーブルに示すように、初期値もそれほど最適値から離れているわけではないが、最適値への収束には10回程度の適応が必要となっている。ただし、図14(A)～図14(C)および図15(A)～図15(C)に示したように、被験者によっては、15回～20回の適応でも最適値に収束しないパラメータ θ_j があった。また、報酬関数200を意識し、現在のインタラクションパラメータ θ に応じて、一貫して人が同じ振る舞いをした場合には、4～5回の適応で収束した。なお、かかる場合には、シミュレーション上では、3～4回で最適値へ収束することもあった。したがって、収束するまでに必要な適応の回数が多くなってしまいう一因としては、人の動きが毎回一定ではないことが考えられる。以下では、適応結果により被験者を4つのグループに分け、更に詳細な実験結果を説明する。

【0099】

まず、最適値への適応が良好であり、被験者の印象も良い場合について説明する。ロボット12は、3名の被験者（被験者2, 10, 12）に対してスムーズに適応した。各パラメータ θ_j の最適値への収束が見られ、この3名の被験者は、「インタラクションについて適当と感じる」と述べた。つまり、ロボット12がインタラクションしたときのインタラクションパラメータ θ が適切であったと言える。この3名の被験者に見られた共通点は、ロボット12とのインタラクションを楽しみ、ロボット12であることを意識せず、人に対する場合と同様にロボット12と接していたことである。

【0100】

図17(A)～(F)は、被験者10についての各パラメータ θ_j の変化を示す。被験者10は、「ロボット12の振る舞い（インタラクション行動）の改善が速かった」と感想を述べている。図17(A)～(F)からも分かるように、個体距離が若干最適値から離れているだけで、各パラメータ θ_j は十分に最適値近くに収束しており、被験者10の感想と一致する結果であると言える。また、被験者は、モーション開始のタイミング（遅れ時間）に関して許容範囲が広く、適応結果も許容範囲内に入っていることが分かる。

【0101】

次に、一部のパラメータ θ_j が最適値に収束していないが、被験者の印象がよい場合について説明する。2名の被験者（被験者5, 8）は、「ロボット12の動作について印象が良かった」と回答したが、一部のパラメータ θ_j は最適値から大きく外れていた。図18(A)～図18(F)は、被験者5に対する各パラメータ θ_j の変化を示す。図18(

A) ~ 図 18 (F) から分かるように、3つの個人距離に関しては最適値に収束しており、モーション開始のタイミング(遅れ時間)に関しては許容範囲が広く、適切に学習したと言えるが、他の2つのパラメータ θ_j (注視時間, 再生速度)は最適値から大きく離れている。しかし、被験者5は、「注視時間、再生速度についても適当であった」と述べた。この原因としては、実験中の条件と最適値を測定した条件の違い、或いは、被験者5のパラメータ θ_j (特に、注視時間, 再生時間)の許容範囲が実際には広がったと考えられる。また、被験者5は、他の被験者には見られない行動(振る舞い)を行った。具体的には、この被験者5は、社会距離に分類される、ロボット12が話すインタラクションにおいても、ロボット12の各部を触っていた。その結果、社会距離が他の被験者と比較してかなり短くなっている。また、このような振る舞いを予期していなかったが、他の被験者と同じ報酬関数200(図5参照)により、ロボット12は被験者5が満足する適応が出来たと言える。

10

【0102】

続いて、最適値へ収束(適応)したが、被験者が一部の適応について不満をもった場合について説明する。図19(A)~(F)は、被験者7に対するロボット12の各パラメータ θ_j の適応を示す。各パラメータ θ_j は最適値へ十分に収束しているように見られるが、被験者7は距離に関して近過ぎたと述べた。しかし、図19(A)~(C)から分かるように、社会距離を除き被験者が許容する最も遠い距離近くに収束している。また、被験者7は、初期の印象としては「ためらった感じ」だったが、次第に「活発」になる印象を受けたと述べている。距離に関する印象が良くなかったのは、ロボット12はPGR Lによる適応により、被験者7の好みに合わせてモーションの再生速度を上げていったが、最適距離の測定はモーションの再生速度を「1」で行ったためと考えられる。この場合、被験者7にとっての最適距離は、より遠かった可能性がある。

20

【0103】

次に、一部のパラメータ θ_j が最適値へ収束せず、被験者も一部の適応に不満を持った場合について説明する。5名の被験者(被験者1, 3, 4, 6, 11)については、一部のパラメータ θ_j が最適値へ収束せず、各被験者もそれらのパラメータ θ_j の適応結果については不満を述べた。図20(A)~(F)は、被験者1に対するパラメータ θ_j の変化の様子を示す。なお、この実験は、トラブルにより他の被験者よりも実験時間が21分間と短くなっている。

30

【0104】

図20(A)~(C)を参照して分かるように、個体距離と社会距離とについては最適値へ収束しているが、親密距離については許容範囲に入っていない。これは、被験者1に対してロボット12が取った親密距離が許容範囲外にあり、どの距離に対しても被験者1はほぼ同じ振る舞いであったため、最適な距離に近づくようパラメータ θ_j を変化することができなかったと考えられる。また、被験者1は親密距離が不適當であったと述べている。図20(D)に示すように、視線を合わせる頻度(注視時間)は、適応により約90%になっている。被験者1は、注視時間については、100%が最もよく、75%~50%程度でもよいと述べたので、適当な値に収束していると言える。被験者1は、遅れ時間についてはあまり気にならないと述べ、再生速度についてはどの値でもよいと述べたため、親密距離以外はうまく適応したと言える。

40

【0105】

図21(A)~(F)は、被験者3に対するパラメータ θ_j の変化の様子を示す。被験者3は、「個体距離が実験の前半で不適當であった」と指摘した。このことは、図21(B)の個体距離のグラフと一致している。視線合わせ頻度(注視時間)については、図21(D)示すように、適応の結果は75%程度であり、最適値は100%であったが、被験者3は「十分に満足できた」と述べた。親密距離の適応結果は、ロボット12が安全のため人に接触しないように設けた下限の15(cm)になっている。この被験者3は、タイミング(遅れ時間)については許容範囲が広がったため、図21(E)に示すように、適応の結果は適当と言える。ただし、図21(F)に示すように、被験者3では、再生速

50

度の適応結果が最適値から大きく離れている。また、被験者 3 は、再生速度は不適当だったと述べている。これは、被験者 3 は、モーションが速すぎると、ロボット 1 2 をじっと見る傾向があり、ロボット 1 2 が再生速度を上げ過ぎて、報酬が誤って大きくなったためと考えられる。

【 0 1 0 6 】

最後に、上手く適応できなかった場合について説明する。図 2 2 (A) ~ (F) は、被験者 9 に対するパラメータ θ_j の変化の様子を示す。図 2 2 (A) ~ (F) から分かるように、個人距離と視線合わせ頻度 (注視時間) 以外のパラメータ θ_j は最適値から大きく離れている。被験者 9 は、「ロボピー (ロボット 1 2) に嫌われていて、ロボピーはいいや普通に振舞うよう努力している印象を受けた」と述べている。実験中の様子からは大きな問題があるとは観察されなかったが、被験者 9 が素直にロボット 1 2 に対して反応しなかった可能性がある。

10

【 0 1 0 7 】

以上より、ロボット 1 2 の個人適応の実現を確認することができた。また、適応したロボット 1 2 の振る舞いが自然に見えたという感想が被験者から得られている。個人適応は、より自然に人とインタラクションを行えるロボット 1 2 の実現への重要な要素の一つであり、この実施例における手法はその一歩とも言える。

【 0 1 0 8 】

この実施例によれば、R P G L によりロボットの振る舞いをインタラクション相手に合わせることができるので、人間同士がコミュニケーションするように、自然なコミュニケーションを実行することができる。

20

【 0 1 0 9 】

なお、これらの実施例では、モーションキャプチャシステムを用いて、ロボットおよび人間の 3 次元位置とロボットおよび人間の視線方向とを検出するようにしたが、これは他のセンサを用いて検出することも可能である。たとえば、ロボットに、ステレオカメラ (イメージセンサ) や超音波センサを搭載すれば、超音波センサの出力やステレオカメラによる視差で、人間との距離を測定することができる。また、人間の顔の向きは、カメラの画像から顔の向きをパターンマッチングして検出することができる。ただし、超音波センサとしては、ロボットに搭載されている超音波距離センサを用いたりすることが可能である。

30

【 0 1 1 0 】

また、この実施例では、方策勾配型強化学習により、インタラクションパラメータを更新するようにしたが、これに限定される必要はなく、他のアルゴリズムによって更新することもできる。たとえば、遺伝的アルゴリズムによりインタラクションパラメータを更新することができる。

【 0 1 1 1 】

さらに、この実施例では、今回試すインタラクションパラメータ θ_j の決定処理 (図 9) では、 i 番目に試すパラメータ θ_j を決定する場合に、 $\Delta (0, \varepsilon_j, -\varepsilon_j)$ を用いるようにしてあるが、これに限らず、乱数を用いることもできる。ただし、乱数を用いる場合には、これに従ってインタラクションパラメータ θ の更新処理 (図 1 0) も変更する必要がある。

40

【 0 1 1 2 】

さらにまた、この実施例では、対人距離として、親密距離、個体距離、社会距離を用いるようにしたが、これに限定されるべきではない。たとえば、握手専用の「握手距離」、挨拶用の「挨拶距離」のような他の距離を仮定して調整した方が良い結果が出る可能性がある。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 1 1 3 】

【 図 1 】 図 1 はこの発明のコミュニケーションロボットシステムの一例を示す図解図である。

50

【図 2】図 2 は図 1 実施例に示すロボットの外観を説明するための図解図である。

【図 3】図 3 は図 1 および図 2 に示すロボットの電氣的な構成を示す図解図である。

【図 4】図 4 はモーションキャプチャシステムで検出するマーカのロボットおよび人間の装着状態およびカメラの配置例を示す図解図である。

【図 5】図 5 は図 1 および図 2 に示すロボットの CPU によって演算される報酬関数の機能ブロック図である。

【図 6】図 6 は図 5 に示す報酬関数において人間がロボットの方を向いていると判断される場合の角度を説明するための図解図である。

【図 7】図 7 は図 3 に示す CPU の強化学習の処理の一部を示すフロー図である。

【図 8】図 8 は図 3 に示す CPU の強化学習の処理の他の一部であり、図 7 に後続するフロー図である。 10

【図 9】図 9 は図 3 に示す CPU の θ_i の決定処理を示すフロー図である。

【図 10】図 10 は図 3 に示す CPU の θ の更新処理を示すフロー図である。

【図 11】図 11 は図 1 に示すシステムを適用した実験環境を説明するための図解図である。

【図 12】図 12 は対人距離に対するロボットの振る舞いを示す第 1 テーブルを示す図解図である。

【図 13】図 13 は実験におけるパラメータの初期値およびステップサイズを示す第 2 テーブルを示す図解図である。

【図 14】図 14 は 12 名の被験者の距離について、適応の結果得られた値と被験者が適当と判断した値とを示す図解図である。 20

【図 15】図 15 は 12 名の被験者の注視時間、遅れ時間およびモーション再生速度についての適応の結果を示す図解図である。

【図 16】図 16 は各パラメータの最適地からの分散を 12 名の被験者について平均した値および初期値の分散を示す第 3 テーブルを示す図解図である。

【図 17】図 17 は被験者 10 についてのパラメータの変化の様子を示すグラフである。

【図 18】図 18 は被験者 5 についてのパラメータの変化の様子を示すグラフである。

【図 19】図 19 は被験者 7 についてのパラメータの変化の様子を示すグラフである。

【図 20】図 20 は被験者 1 についてのパラメータの変化の様子を示すグラフである。

【図 21】図 21 は被験者 3 についてのパラメータの変化の様子を示すグラフである。 30

【図 22】図 22 は被験者 9 についてのパラメータの変化の様子を示すグラフである。

【符号の説明】

【0114】

10 ... コミュニケーションロボットシステム

12 ... コミュニケーションロボット

20 ... モーションキャプチャシステム

38 ... 衝突センサ

42 ... 超音波距離センサ

52 ... 全方位カメラ

54 ... 眼カメラ 40

64 ... タッチセンサ

76 ... CPU

80 ... メモリ

82 ... モータ制御ボード

84 ... センサ入力 / 出力ボード

86 ... 音声入力 / 出力ボード

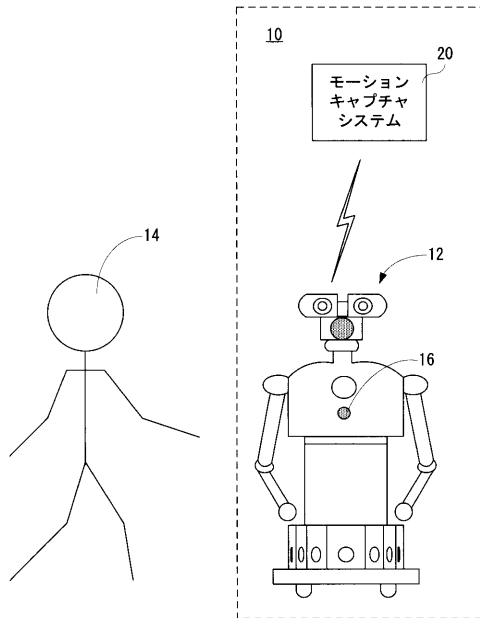
88 - 96 ... モータ

98 ... 通信 LAN ボード

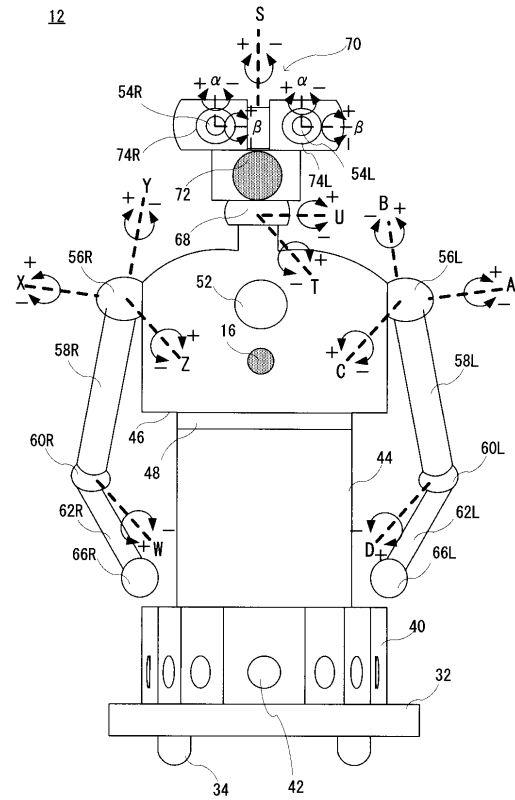
100 ... 無線通信装置

102 ... データベース 50

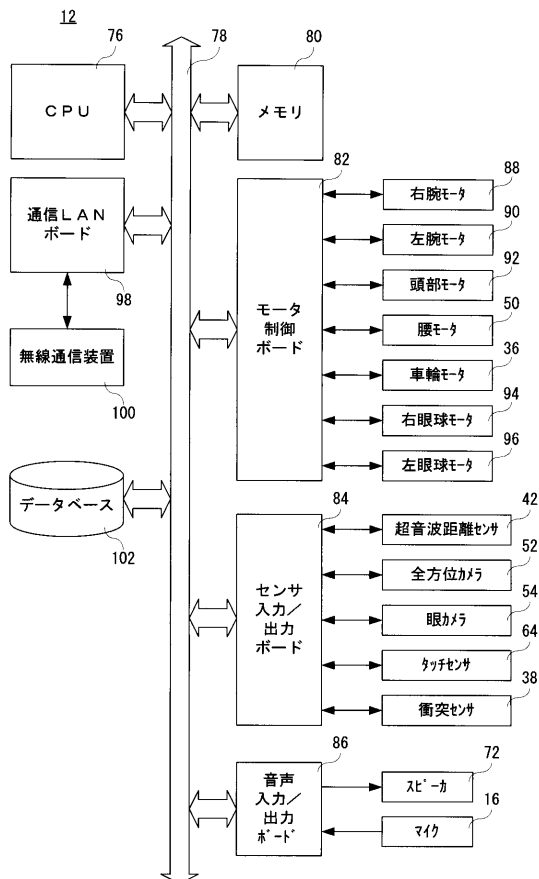
【図 1】



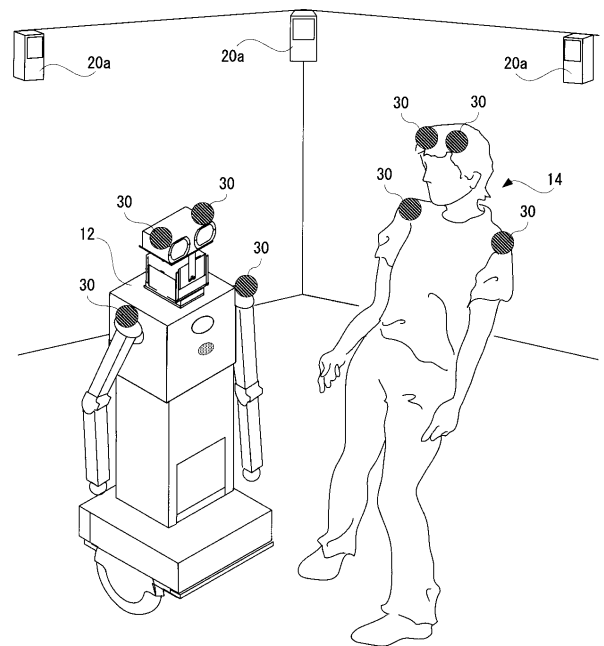
【図 2】



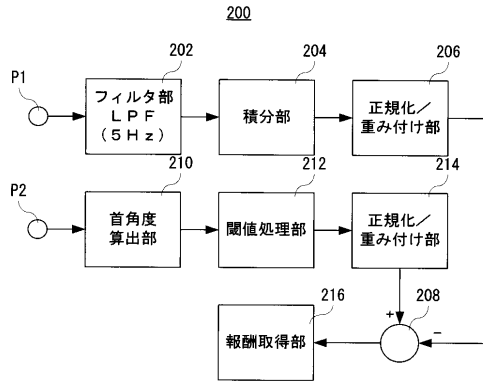
【図 3】



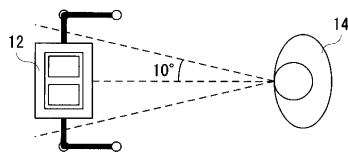
【図 4】



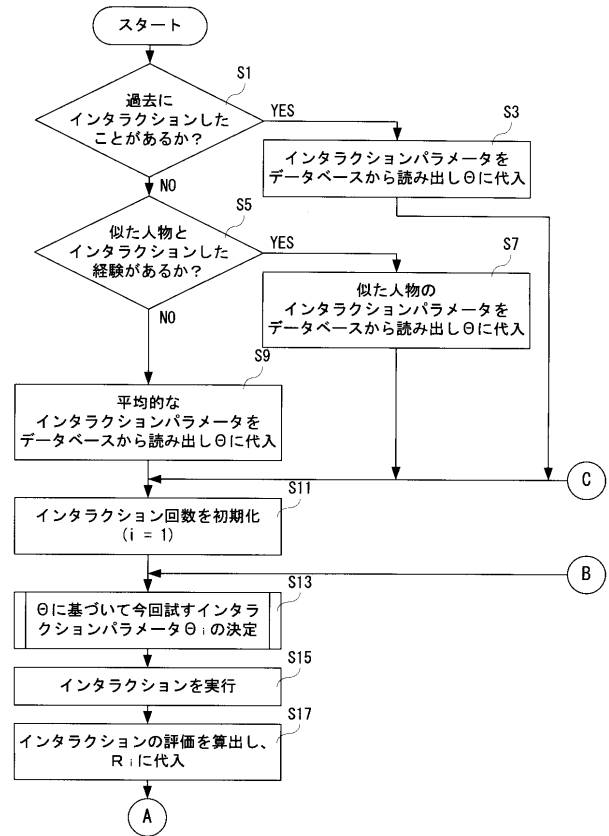
【図 5】



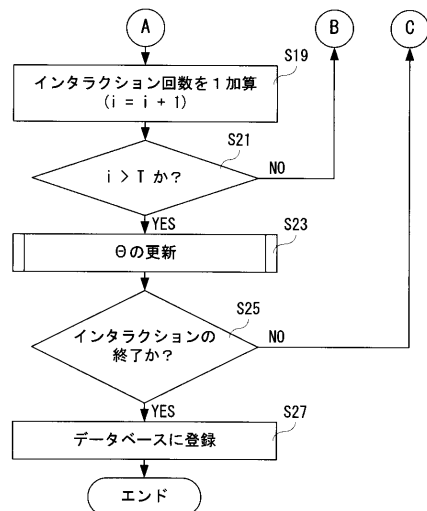
【図 6】



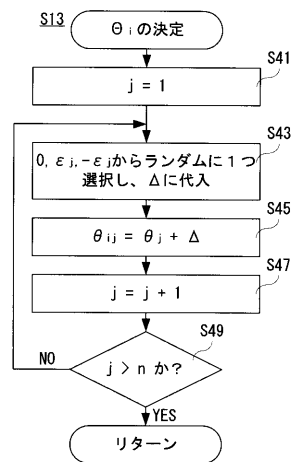
【図 7】



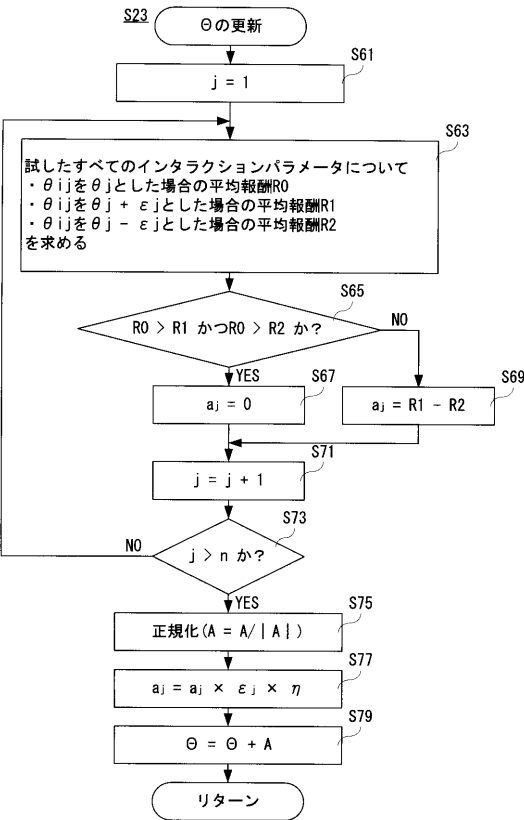
【図 8】



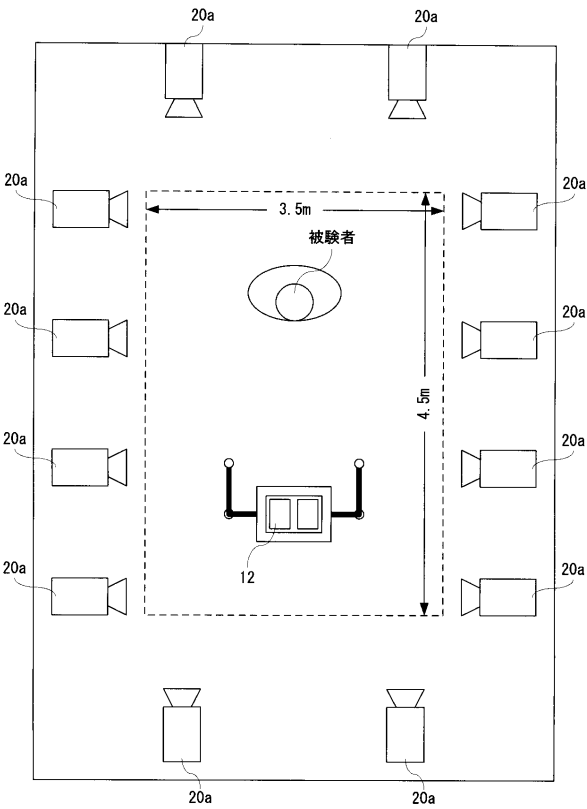
【図 9】



【図 10】



【図 11】



【図 12】

第1テーブル

分類	振る舞い（インタラクション行動）
親密距離	抱っこ(Hug)
個体距離	握手(Shake hands)
個体距離	どこから来たの？(Ask where person comes from)
個体距離	ロボットってかわいい？(Ask if robot is cute)
個体距離	触ってね(Ask person to touch touch)
社会距離	じゃんけん(Play paper-scissors-stone)
社会距離	あっちむいてほい(Play pointing game)
社会距離	運動(Perform arm-swinging exercise)
社会距離	自己紹介(Hold "thank you" monologue)
社会距離	相手を見る(Look at human without speaking)

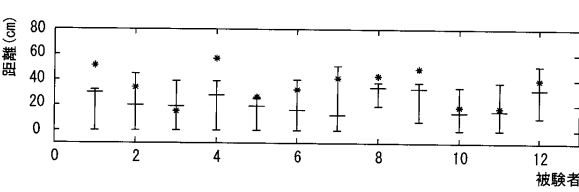
【図 13】

第2テーブル

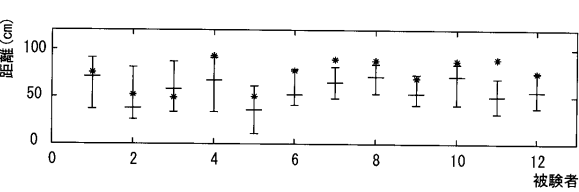
パラメータ θ _j	初期値	ステップ サイズ
親密距離	50cm	15cm
個体距離	80cm	15cm
社会距離	100cm	15cm
注視時間	0.7	0.1
遅れ時間	0.17s	0.3s
再生速度	1.0	0.1

【図 14】

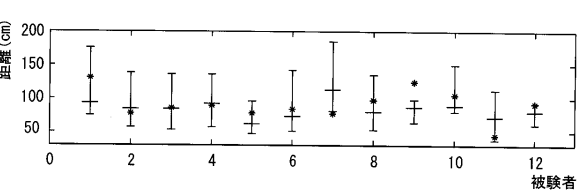
(A) 親密距離



(B) 個体距離

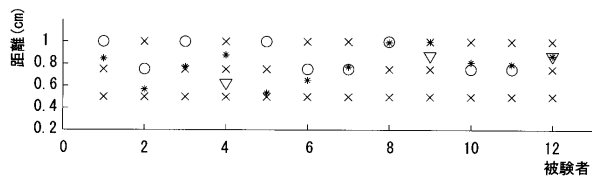


(C) 社会距離

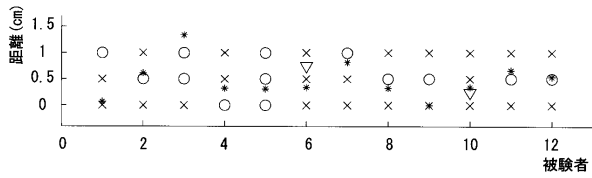


【図 15】

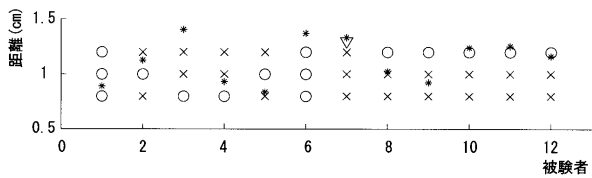
(A) 注視時間



(B) 遅れ時間



(C) モーション再生速度



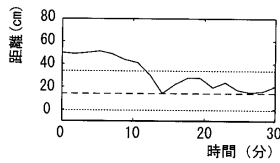
【図 16】

第3テーブル

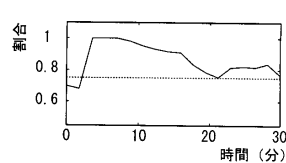
パラメータ θ_j	平均値	初期値
親密距離	0.9	1.8
個体距離	1.3	1.6
社会距離	1.3	1.2
注視率	1.0	2.4
遅れ時間	0.8	1.5
再生速度	1.1	1.4

【図 17】

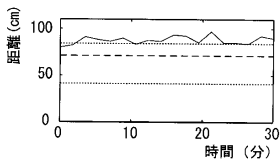
(A) 親密距離



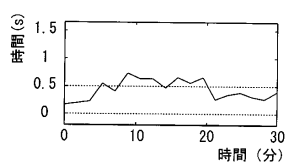
(D) 注視時間



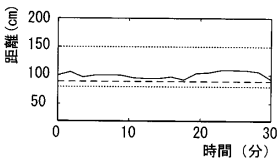
(B) 個体距離



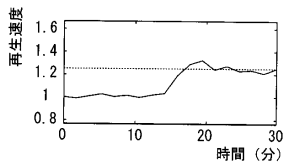
(E) 遅れ時間



(C) 社会距離



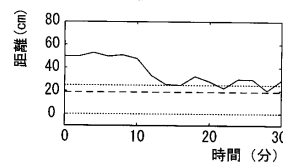
(F) 再生速度



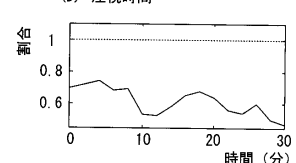
----- 最適値

【図 18】

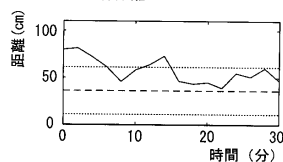
(A) 親密距離



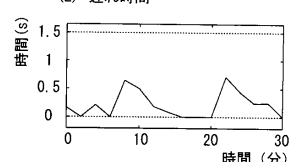
(D) 注視時間



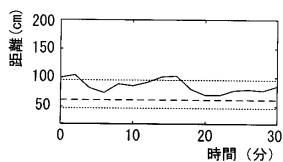
(B) 個体距離



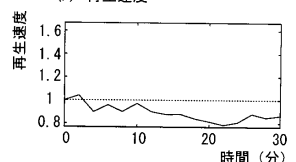
(E) 遅れ時間



(C) 社会距離

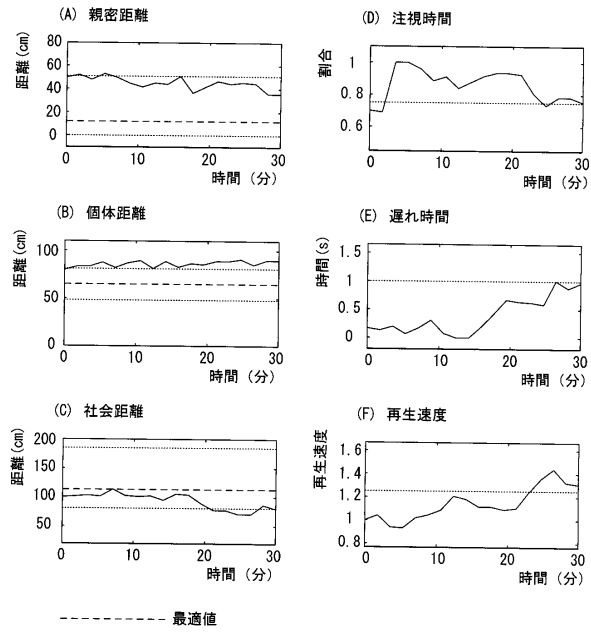


(F) 再生速度

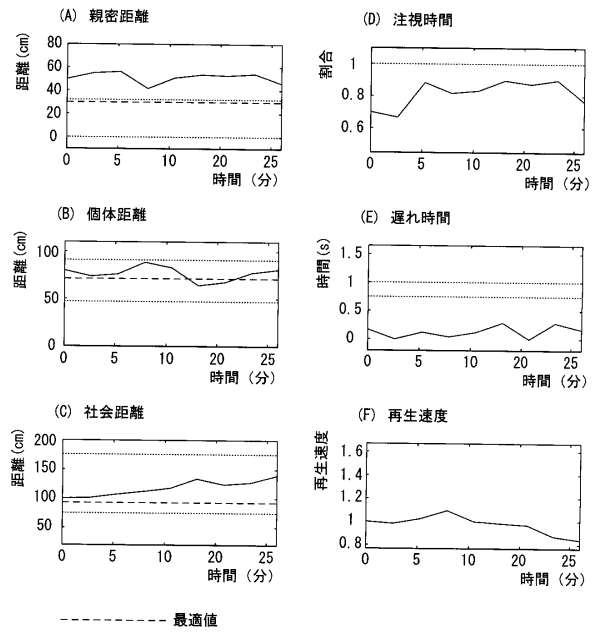


----- 最適値

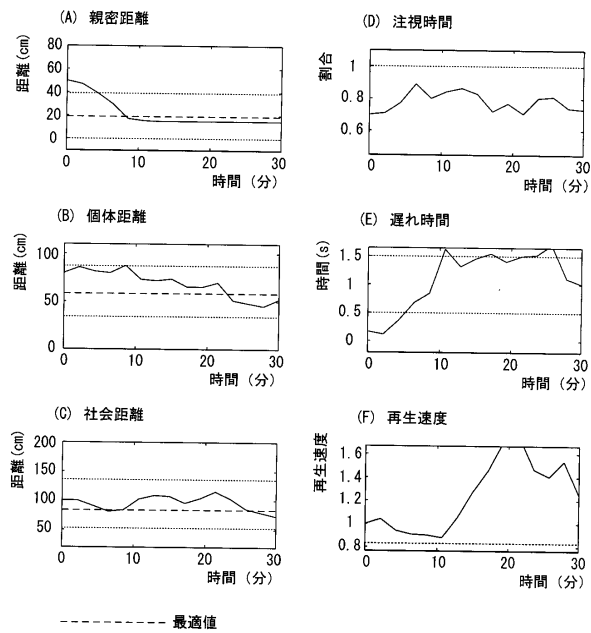
【図 19】



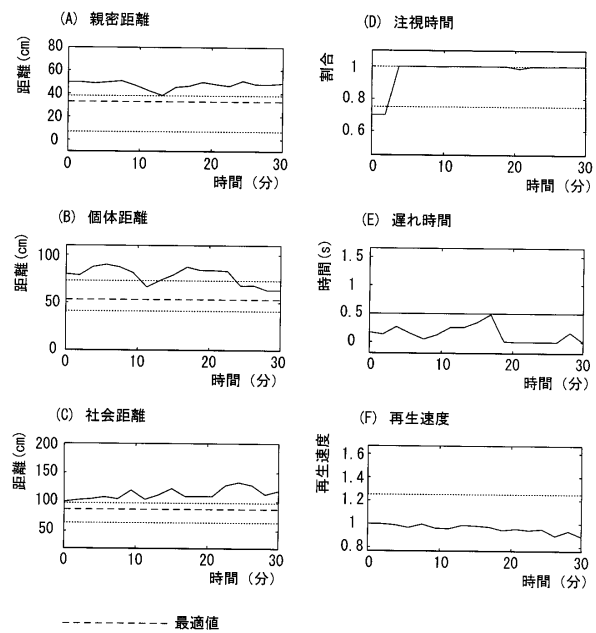
【図 20】



【図 21】



【図 22】



フロントページの続き

合議体

審判長 豊原 邦雄

審判官 菅澤 洋二

審判官 刈間 宏信

(56)参考文献 特開2004-283958(JP,A)

特開2004-252111(JP,A)

特開2004-295766(JP,A)

特開2004-230480(JP,A)

特開2003-340759(JP,A)

特開2002-163631(JP,A)

T. Kanda, H. Ishiguro, M. Imai, and T. Ono,
Body Movement Analysis of Human-Robot Inter
action, Proceedings of the 18th internationa
l joint conference on Artificial intelligen
ce, 2003年, pp. 177-182

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B25J1/00-21/02

A63H1/00-37/00