

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4617428号  
(P4617428)

(45) 発行日 平成23年1月26日(2011.1.26)

(24) 登録日 平成22年11月5日(2010.11.5)

(51) Int.Cl. F I  
B 2 5 J 13/00 (2006.01) B 2 5 J 13/00 Z

請求項の数 10 (全 30 頁)

|  |  |
|--|--|
| <p>(21) 出願番号 特願2004-277830 (P2004-277830)</p> <p>(22) 出願日 平成16年9月24日(2004.9.24)</p> <p>(65) 公開番号 特開2006-88276 (P2006-88276A)</p> <p>(43) 公開日 平成18年4月6日(2006.4.6)</p> <p>審査請求日 平成19年6月8日(2007.6.8)</p> <p>特許法第30条第1項適用 平成16年9月1日 インターネットアドレス (<a href="http://www.mis.atr.co.jp/~kanda/pdf/kamasima-iros2004.pdf">http://www.mis.atr.co.jp/~kanda/pdf/kamasima-iros2004.pdf</a>) にて発表</p> <p>(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</p> | <p>(73) 特許権者 393031586<br/>株式会社国際電気通信基礎技術研究所<br/>京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2</p> <p>(74) 代理人 100090181<br/>弁理士 山田 義人</p> <p>(72) 発明者 鎌島 正幸<br/>京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2<br/>株式会社国際電気通信基礎技術研究所内</p> <p>(72) 発明者 神田 崇行<br/>京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2<br/>株式会社国際電気通信基礎技術研究所内</p> <p>(72) 発明者 今井 倫太<br/>京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2<br/>株式会社国際電気通信基礎技術研究所内</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p> |
|--|--|

(54) 【発明の名称】 動作生成システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

少なくとも腕を含む身体部位と身体部位を駆動するアクチュエータとを有するコミュニケーションロボットを備え、コミュニケーションの相手の少なくとも身体動作を含む動作に対して、模倣動作および同調動作の少なくとも一方を含む協力的な動作を前記コミュニケーションロボットに実行させる動作生成システムであって、

前記コミュニケーションロボットに前記協力的な動作を実行させるための複数の行動プログラムを記憶したプログラム記憶手段、

前記相手および前記コミュニケーションロボットの少なくとも身体動作を含む動作を検出し、前記相手および前記コミュニケーションロボットの動作に関するデータを計測時刻に関連付けて記憶する動作検出手段、

前記動作に関するデータに基づいて前記相手の状態を検出する状態検出手段、

前記状態検出手段によって検出された前記相手の現在および過去の状態に応じて、前記プログラム記憶手段に記憶された複数の行動プログラムから一定時間毎に行動プログラムを選択する選択手段、

前記選択手段によって行動プログラムが選択されたとき、選択された行動プログラムに従って、当該動作を実現するための制御データを生成する生成手段、および

前記制御データに基づいて前記アクチュエータを制御するアクチュエータ制御手段を備える、動作生成システム。

【請求項2】

前記コミュニケーションロボットの身体部位は頭をさらに含む、請求項 1 記載の動作生成システム。

【請求項 3】

前記プログラム記憶手段に記憶される行動プログラムは、前記コミュニケーションロボットに前記相手を模倣する模倣動作を実行させるための行動プログラムを含む、請求項 1 または 2 記載の動作生成システム。

【請求項 4】

前記プログラム記憶手段は、前記模倣動作を実行させるための複数の行動プログラムを記憶していて、

前記状態検出手段は、前記相手が特定動作をしている手に関する第 1 状態を検出する第 1 状態検出手段、および前記相手に衝突するおそれのある前記コミュニケーションロボットの腕に関する第 2 状態を検出する第 2 状態検出手段を含み、

前記選択手段は、前記第 1 状態が前記相手のどちらかの手を示す場合、前記第 2 状態の示す腕とは異なる腕で前記特定動作を模倣する動作を実行させるための行動プログラムを選択する、請求項 3 記載の動作生成システム。

【請求項 5】

前記状態検出手段は、前記特定動作の方向に関する第 3 状態を検出する第 3 状態検出手段をさらに含み、

前記選択手段は、前記第 2 状態がいずれの腕も示さない場合、前記第 3 状態の示す方向に対応する側の腕で前記特定動作を模倣する動作を実行させるための行動プログラムを選択する、請求項 4 記載の動作生成システム。

【請求項 6】

前記状態検出手段は、前記相手が前記特定動作に使用している手に関する第 4 状態を、前記相手の手の肩からの距離、前記相手の手の過去一定時間の動き、および前回検出された第 4 状態に基づいて検出し、

前記選択手段は、前記第 1 状態の示す手と前記第 4 状態の示す手とが同じでないとき、前記模倣動作ではない動作を実行させるための行動プログラムを選択する、請求項 4 記載の動作生成システム。

【請求項 7】

前記選択手段は、特定動作を模倣する動作を実行させるための行動プログラムの選択が一定時間以上続いたとき、前記状態検出手段によって検出された前記相手の状態に応じて前記行動プログラムの再選択をする、請求項 3 ないし 6 のいずれかに記載の動作生成システム。

【請求項 8】

前記特定動作は指差しまたは方向を指し示す身体動作を含む、請求項 3 ないし 7 のいずれかに記載の動作生成システム。

【請求項 9】

前記動作検出手段は、前記相手の発話を検出して発話に関するデータを生成する発話検出手段を含み、

前記状態検出手段は、前記発話に関するデータに基づいて前記相手の発話の状態を検出し、

前記選択手段は、前記状態検出手段によって検出された前記相手の発話の状態が所定条件を満たすとき、前記頭を用いて前記相手に協力的な動作を実行させるための行動プログラムを選択する、請求項 2 記載の動作生成システム。

【請求項 10】

前記コミュニケーションロボットは音声を出力する音声出力手段をさらに備えていて、

前記プログラム記憶手段に記憶される行動プログラムは、発話をするための行動プログラムを含み、

前記動作検出手段は、前記相手の発話を検出して発話に関するデータを生成する発話検出手段を含み、

10

20

30

40

50

前記状態検出手段は、前記発話に関するデータに基づいて前記相手の発話の状態を検出し、

前記選択手段は、前記コミュニケーションロボットの身体部位および発話ごとに行動プログラムを選択するものであって、前記状態検出手段によって検出された少なくとも前記相手の発話の状態に応じて、前記発話をするための行動プログラムを選択し、

前記生成手段は、前記選択手段によって発話をするための行動プログラムが選択されたとき、当該発話をするための制御データを生成し、

前記音声出力手段は、前記制御データに基づいて音声を出力する、請求項 1 ないし 9 のいずれかに記載の動作生成システム。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

この発明は動作生成システムに関し、特にたとえば、人間などコミュニケーションの相手の動作に対応する動作（協力的な動作ないし模倣する動作など）をコミュニケーションロボットに実行させる、動作生成システムに関する。

【背景技術】

【0002】

本件出願人は、特許文献 1 等で、人間と相互作用するコミュニケーションロボットを提案してきた。

【0003】

20

また、本発明者等のこれまでの研究において、人間が、たとえばアイコンタクトや同調する動作のような、コミュニケーションロボットの動作に対応する協力的な身体動作を行うことによって、コミュニケーションロボットと人間との相互作用における引き込み（Engagement）が生じることが見出されている（たとえば非特許文献 1）。

【特許文献 1】特開 2002 - 355783 号公報

【非特許文献 1】神田崇行外 3 名（T. Kanda, H. Ishiguro, M. Imai, and T. Ono）：「人ロボット相互作用の身体動作解析」（“Body Movement Analysis of Human-Robot Interaction”），Proc. of International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp. 177-182, 2003.

【発明の開示】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

人間が自然なコミュニケーションのためにロボットに対応して協力的に振舞うことがわかってきているが、人間に対して協力的な動作を自律的に実行することが可能なコミュニケーションロボットは未だ開発されていない。

【0005】

また、背景技術のコミュニケーションロボットを用いて、たとえば、協力的な動作として、人間の動作を模倣するロボットを作ること考えた場合、単に人真似をするロボットを作ると問題が生じる。たとえば、ロボットは常に人間の真似をするだけになってしまうので、人間とのコミュニケーションが成り立たなくなる。また、至近距離でコミュニケーションが行われている場合、常に人間と同一の動作を行うだけであれば、人間にぶつかる危険性がある。

40

【0006】

それゆえに、この発明の主たる目的は、コミュニケーションの相手の動作に対応する適切な動作をコミュニケーションロボットに実行させることができる、動作生成システムを提供することである。

【0007】

この発明の他の目的は、相手の動作の状態に応じて適切な協力的な動作や模倣動作をコミュニケーションロボットに実行させることができる、動作生成システムを提供することである。

50

## 【課題を解決するための手段】

## 【0008】

請求項1の発明は、少なくとも腕を含む身体部位と身体部位を駆動するアクチュエータとを有するコミュニケーションロボットを備え、コミュニケーションの相手の少なくとも身体動作を含む動作に対して、模倣動作および同調動作の少なくとも一方を含む協力的な動作を前記コミュニケーションロボットに実行させる動作生成システムであって、コミュニケーションロボットに協力的な動作を実行させるための複数の行動プログラムを記憶したプログラム記憶手段、相手およびコミュニケーションロボットの少なくとも身体動作を含む動作を検出し、相手およびコミュニケーションロボットの動作に関するデータを計測時刻に関連付けて記憶する動作検出手段、動作に関するデータに基づいて相手の状態を検出する状態検出手段、状態検出手段によって検出された相手の現在および過去の状態に応じて、プログラム記憶手段に記憶された複数の行動プログラムから一定時間毎に行動プログラムを選択する選択手段、選択手段によって行動プログラムが選択されたとき、選択された行動プログラムに従って、当該動作を実現するための制御データを生成する生成手段、および制御データに基づいてアクチュエータを制御するアクチュエータ制御手段を備える、動作生成システムである。

10

## 【0009】

請求項1の発明では、動作検出手段が、コミュニケーションロボットとコミュニケーションの相手の少なくとも身体動作を含む動作を検出して動作に関するデータを生成し、計測時刻に関連付けて記憶する。実施例では、たとえばモーションキャプチャシステムによって身体動作に関するデータが取得され、また、マイクによって発話に関するデータが取得される。この検出した動作に関するデータに基づいて、状態検出手段は、相手の状態を検出する。選択手段は、プログラム記憶手段に記憶された相手の動作に対して、模倣動作および同調動作の少なくとも一方を含む協力的な動作を実行するための複数のプログラムの中から、検出された相手の現在および過去の状態に応じた行動プログラムを一定時間毎に選択する。生成手段は、行動プログラムが選択されたとき、選択された行動プログラムに従って、当該動作を実現するためのコミュニケーションロボットの制御データを生成する。アクチュエータ制御手段は、生成された制御データに基づいて、身体部位を駆動するアクチュエータを制御する。このようにして、コミュニケーションロボットの少なくとも腕を含む身体部位が駆動され、相手の動作に対して協力的な動作が実現される。したがって、請求項1の発明によれば、相手とコミュニケーションロボットの動作を検出し、その検出した動作に関するデータに基づいて検出された相手の状態に応じて、対応動作のための行動プログラムが選択されるので、コミュニケーションロボットに相手の状態に応じた適切な動作を実行させることが可能である。

20

30

## 【0010】

請求項2の発明は、請求項1の発明に従属し、コミュニケーションロボットの身体部位は頭をさらに含む。請求項2の発明では、コミュニケーションロボットに、腕だけでなく頭を使用して相手の状態に応じた協力的な動作を実行させることが可能である。したがって、コミュニケーションロボットと相手とのコミュニケーションをより自然なものにすることができる。

40

## 【0011】

請求項3の発明は、請求項1または2の発明に従属し、プログラム記憶手段に記憶される行動プログラムは、コミュニケーションロボットに相手を模倣する模倣動作を実行させるための行動プログラムを含む。

## 【0012】

請求項3の発明では、プログラム記憶手段には、相手の動作を模倣する動作を実行させるためのプログラムが記憶されている。動作検出手段は、コミュニケーションロボットと相手の身体動作を検出して身体動作データを生成する。実施例では、たとえば光学式のモーションキャプチャシステムが適用され、コミュニケーションロボットと相手の身体の特徴点の3次元位置座標データが取得される。状態検出手段は少なくとも身体動作データに

50

基づいて相手の状態を検出する。この検出された相手の状態に応じて、選択手段は、模倣動作を実行するための行動プログラムを選択することができる。生成手段は、選択手段によって模倣動作を実行するための行動プログラムが選択されたとき、身体動作データに基づいて、当該模倣動作を実現するための制御データを生成する。したがって、請求項3の発明によれば、コミュニケーションロボットに、相手の状態に応じて適切な相手の模倣動作を実行させることができる。したがって、相手に協力的な動作としての模倣動作を適切に実行することができるので、自然で円滑なコミュニケーションを実現できる。

【0013】

請求項4の発明は、請求項3の発明に従属し、プログラム記憶手段は、模倣動作を実行させるための複数の行動プログラムを記憶していて、状態検出手段は、相手が特定動作をしている手に関する第1状態を検出する第1状態検出手段、および相手に衝突するおそれのあるコミュニケーションロボットの腕に関する第2状態を検出する第2状態検出手段を含み、選択手段は、第1状態が相手のどちらかの手を示す場合、第2状態の示す腕とは異なる腕で特定動作を模倣する動作を実行させるための行動プログラムを選択する。

10

【0014】

請求項4の発明では、第1状態検出手段は、身体動作データに基づいて、相手が特定動作をしている手に関する第1状態を検出する。たとえば、実施例では、第1状態は相手が指差し等を行っている手を示す。第2状態検出手段は、身体動作データに基づいて、相手に衝突するおそれのあるコミュニケーションロボットの腕に関する第2状態を検出する。そして、選択手段は、第1状態が相手のどちらかの手を示す場合、つまり、相手が特定動作をしている場合には、第2状態の示す腕とは異なる腕による特定動作の模倣動作のための行動プログラムをプログラム記憶手段から選択する。したがって、請求項4の発明によれば、相手の特定動作と同一の動作をすれば相手に衝突するおそれがあるときに、衝突するおそれのない腕を用いた模倣動作を実行することができる。したがって、相手の動作を模倣する動作を安全に実行することができる。

20

【0015】

請求項5の発明は、請求項4の発明に従属し、状態検出手段は、特定動作の方向に関する第3状態を検出する第3状態検出手段をさらに含み、選択手段は、第2状態がいずれの腕も示さない場合、第3状態の示す方向に対応する側の腕で特定動作を模倣する動作を実行させるための行動プログラムを選択する。

30

【0016】

請求項5の発明では、第3状態検出手段は、特定動作の方向に関する第3状態を検出する。たとえば、実施例では、第3状態は、コミュニケーションロボットから見て特定動作が行われている方向を示す。そして、選択手段は、第2状態がいずれの腕も示さない場合、つまり、いずれの腕も相手に衝突するおそれがない場合には、第3状態の示す方向に対応する側の腕による特定動作の模倣動作のための行動プログラムを選択する。したがって、請求項5の発明によれば、安全性が確保されている場合には、相手の動作が示す方向に応じた腕で模倣動作を実行することができるので、より自然な模倣動作を実現できる。

【0017】

請求項6の発明は、請求項4の発明に従属し、状態検出手段は、相手が特定動作に使用している手に関する第4状態を、相手の手の肩からの距離、相手の手の過去一定時間の動き、および検出された第4状態に基づいて検出し、選択手段は、第1状態の示す手と第4状態の示す手とが同じでないとき、模倣動作ではない動作を実行させるための行動プログラムを選択する。

40

【0018】

請求項6の発明では、状態検出手段は、第4状態として、相手が特定動作に使用している手を検出する。この第4状態の検出は、相手の手の肩からの距離、相手の手の過去一定時間の動き、および前回検出された第4状態に基づいて行われる。たとえば、実施例では、前回の第4状態に示されない手に関しての距離と動きとの両者が、前回の第4状態に示す手に関しての距離と動きとの両者よりも大きくなった場合にのみ、使用している手が変

50

更されたものとみなして、第4状態の示す手が切り替えられる。そして、選択手段は、第1状態の示す手と第4状態の示す手とが同じでないとき、つまり、特定動作をしている手と特定動作に使用されている手とが異なるものとなったときには、特定動作が終わっているとみなして、模倣動作ではない動作を実行させるための行動プログラムを選択する。したがって、請求項6の発明によれば、特定動作が変化するときには的確に対応して、相手の動作が変更されても模倣動作をし続けるようなことがないので、自然で違和感のない模倣動作を実現できる。

【0019】

請求項7の発明は、請求項3ないし6の発明のいずれかに従属し、選択手段は、特定動作を模倣する動作を実行させるための行動プログラムの選択が一定時間以上続いたとき、状態検出手段によって検出された相手の状態に応じて行動プログラムの再選択をする。

10

【0020】

請求項7の発明では、特定動作のための行動プログラムの選択が一定時間以上続いたときに行動プログラムが相手の状態に応じて再選択される。したがって、請求項7の発明によれば、コミュニケーションロボットが模倣動作を長々と続けるようなことがなく、模倣動作の実現される時間を適切なものにすることができるので、相手を模倣する動作を自然に行うことができる。

【0021】

請求項8の発明は、請求項3ないし7の発明のいずれかに従属し、特定動作は指差しまたは方向を指し示す身体動作を含む。請求項8の発明では、状態検出手段によって、特定動作としての指差しまたは方向を指し示す身体動作に関して、相手の状態が検出されることとなる。したがって、たとえば実施例の順路案内状況のような指差し等が人間によって行われる場合において、コミュニケーションロボットに適切に相手の模倣動作を実行させることができ、円滑なコミュニケーションを実現できる。

20

【0022】

請求項9の発明は、請求項2の発明に従属し、動作検出手段は、相手の発話を検出して発話に関するデータを生成する発話検出手段を含み、状態検出手段は、発話に関するデータに基づいて相手の発話の状態を検出し、選択手段は、状態検出手段によって検出された相手の発話の状態が所定条件を満たすとき、頭を用いて相手に協力的な動作を実行させるための行動プログラムを選択する。

30

【0023】

請求項9の発明では、発話検出手段は、相手の発話を検出して発話に関するデータを生成して、状態検出手段は相手の発話の状態を検出する。選択手段は、相手の発話の状態が所定条件を満たすとき、頭を用いて相手に協力的な動作を実行させるための行動プログラムを選択する。したがって、コミュニケーションロボットは、相手の発話の状態に応じた協力的な動作を、頭を用いた身体動作によって実現することができる。

【0024】

請求項10の発明は、請求項1ないし9の発明のいずれかに従属し、コミュニケーションロボットは音声を出力する音声出力手段をさらに備えていて、プログラム記憶手段に記憶される行動プログラムは、発話をするための行動プログラムを含み、動作検出手段は、相手の発話を検出して発話に関するデータを生成する発話検出手段を含み、状態検出手段は、発話に関するデータに基づいて相手の発話の状態を検出し、選択手段は、コミュニケーションロボットの身体部位および発話ごとに行動プログラムを選択するものであって、状態検出手段によって検出された少なくとも相手の発話の状態に応じて、発話をするための行動プログラムを選択し、生成手段は、選択手段によって発話をするための行動プログラムが選択されたとき、当該発話をするための制御データを生成し、音声出力手段は、制御データに基づいて音声を出力する。

40

【0025】

請求項10の発明では、コミュニケーションロボットには音声出力手段が設けられる。プログラム記憶手段には、発話をするための行動プログラムが記憶される。発話検出手段

50

は、相手の発話を検出して発話に関するデータを生成し、この発話に関するデータに基づいて、状態検出手段は相手の発話の状態を検出する。選択手段は、コミュニケーションロボットの身体部位および発話ごとに行動プログラムを選択することができるので、検出された少なくとも発話の状態に応じて、発話をするための行動プログラムを選択する。生成手段は、発話をするための行動プログラムが選択されたとき、当該発話をするための制御データを生成する。そして、音声出力手段は、発話をするための制御データに基づいて音声を出力する。したがって、コミュニケーションロボットは、検出された相手の発話状態に応じて適切な発話をするので、身体動作とともに発話を用いて相手の動作に対応する動作、協力的な動作、あるいは模倣動作などを実行することができ、より円滑なコミュニケーションを実現できる。

10

**【発明の効果】****【0026】**

この発明によれば、コミュニケーションの相手とコミュニケーションロボットの動作に関するデータに基づいて、相手の状態を検出し、その検出された状態に応じて、相手の動作に対応する動作としての協力的な動作や模倣動作のための行動プログラムを選択するようにしている。したがって、相手の動作の状態に応じて、適切な協力的な動作や模倣動作をコミュニケーションロボットに実行させることができるので、自然で円滑なコミュニケーションを実現することができる。

**【0027】**

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。

20

**【発明を実施するための最良の形態】****【0028】**

図1を参照して、この実施例の動作生成システム10は、コミュニケーションロボット(以下、単に「ロボット」ともいう。)12に、人間14の動作(行動)に応じて、協力的な動作を実行させるためのものであり、協力的な動作として特に人間14の身体動作を模倣する(すなわち類似あるいは同一の)動作や、人間14の動作に同調する動作などを実行させるためのものである。この動作生成システム10は、少なくとも腕を含む身体部位を有して身体表現の可能なロボット12、ロボット12に実行させる行動を制御するロボット制御装置16、および身体動作を検出するモーションキャプチャシステム18を含む。

30

**【0029】**

ロボット制御装置16は、パーソナルコンピュータまたはワークステーション等のコンピュータからなり、CPU、RAM、ROMおよびHDD等を備える。ロボット12の行動を制御するためのプログラムおよびデータは主記憶装置としてのHDD等に格納されていて、CPUはこのプログラムに従って処理を実行する。ロボット制御装置16の内部または外部には、行動モジュールデータベース(DB)20、および発話計測データDB22が設けられる。行動モジュールDB20には、後述するように、ロボット12の各行動を実現するためのモジュール化された各プログラム(行動モジュールと呼ばれる。)が記憶される。発話計測データDB22には、マイク24によって取得される人間14の発話に関するデータが記憶される。マイク24は、この実施例ではロボット12に設けられている。ロボット12は、所定周期でマイク24から人間14の発話の音量を計測して、その取得した発話計測データをロボット制御装置16に送信する。ロボット制御装置16は、ロボット12から発話計測データを受信して、発話計測データDB22に格納する。発話計測データは計測時刻(フレーム)に関連付けて格納されている。

40

**【0030】**

なお、ロボット制御装置16とモーションキャプチャシステム18とは、たとえばHUB(図示せず)を介して有線または無線LANで互いに接続される。また、ロボット12は、たとえばHUBに接続されたアクセスポイント(図示せず)を介して無線LANでロボット制御装置16と接続される。

50

## 【 0 0 3 1 】

ロボット制御装置 1 6 の CPU は、検出した人間 1 4 の動作（身体動作および発話）に基づいて、適切な行動モジュールを選択して実行する。人間 1 4 の動作に関するデータのうち身体動作に関するデータは、モーションキャプチャシステム 1 8 から取得される。行動モジュールの実行の結果、ロボット制御装置 1 6 の CPU は、その行動を実現するための指令データをロボット 1 2 に送信する。

## 【 0 0 3 2 】

モーションキャプチャシステム（3次元動作計測装置）1 8 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が適用されてよい。モーションキャプチャシステム 1 8 は、パーソナルコンピュータまたはワークステーションなどのコンピュータを含み、その内部または外部には、人間 1 4 およびロボット 1 2 の身体動作に関する数値データを記憶する 3次元動作計測データ DB 2 6 が設けられる。このモーションキャプチャシステム 1 8 においては、図 2 に示すように、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 8 が、玄関、廊下、部屋等のような適宜の空間において、ロボット 1 2 および人間 1 4 に対して互いに異なる方向に配置され、ロボット 1 2 と人間 1 4 との相互作用における身体動作を検出する。ロボット 1 2 と人間 1 4 には、複数の赤外線反射マーカ 3 0 が取り付けられる。人間 1 4 には、たとえば頭頂、眼の上、首、肩、肘、手先（手首）等のような人間 1 4 の動作を特徴付ける特徴点すなわち人間 1 4 の動作を特定可能な部分に、各マーカ 3 0 が取り付けられる。人間 1 4 は、たとえば、マーカ 3 0 の取り付けられた帽子や服を着用してよい。また、ロボット 1 2 にも、同様にして、その動作を特定可能な特徴点（頭頂、眼の上、首、肩、肘、手先等）に各マーカ 3 0 が取り付けられる。モーションキャプチャシステム 1 8 のコンピュータは、カメラ 2 8 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、画像データの画像処理によって、その計測時のすべ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、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次元位置座標データを算出し、その算出した 3次元位置座標データを 3次元動作計測データとして 3次元動作計測データ DB 2 6 に格納する。3次元動作計測データは計測時刻（フレーム）に関連付けて格納されている。

## 【 0 0 3 3 】

ロボット 1 2 は、人間のような身体を有し、その身体を用いて、コミュニケー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 3 を参照して、ロボット 1 2 は台車 3 2 を含み、この台車 3 2 の下面には、このロボット 1 2 を自律移動させる車輪 3 4 が設けられる。この車輪 3 4 は、車輪モータ（ロボット 1 2 の内部構成を示す図 4 において参照番号「3 6」で示す。）によって駆動され、台車 3 2 すなわちロボット 1 2 を前後左右任意の方向に動かすことができる。なお、図 3 では示さないが、この台車 3 2 の前面には、衝突センサ（図 4 において参照番号「3 8」で示す。）が取り付けられ、この衝突センサ 3 8 は、台車 3 2 への人や他の障害物の接触を検知する。そして、ロボット 1 2 の移動中に障害物との接触を検知すると、直ちに車輪 3 4 の駆動を停止してロボット 1 2 の移動を急停止させる。

## 【 0 0 3 4 】

なお、ロボット 1 2 の背の高さは、この実施例では、人、特に子供に威圧感をあたえることがないように、1 0 0 c m 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。

## 【 0 0 3 5 】

台車 3 2 の上には、多角形柱のセンサ取付パネル 4 0 が設けられ、このセンサ取付パネル 4 0 の各面には、超音波距離センサ 4 2 が取り付けられる。この超音波距離センサ 4 2 は、取付パネル 4 0 すなわちロボット 1 2 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。

## 【 0 0 3 6 】

台車 3 2 の上には、さらに、ロボット 1 2 の胴体が、その下部が上述の取付パネル 4 0 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 4 4 と上部胴体 4 6 とから構成され、これら下部胴体 4 4 および上部胴体 4 6 は、連結部 4 8 によって連結される。連結部 4 8 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 4 6 の高さすなわちロボット 1 2 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 4 において参照番号「5 0」で示す。）によって駆動される。上で述べたロボット 1 2 の身長 1 0 0 c m は、上部胴体 4 6 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 1 2 の身長は 1 0 0 c m 以上に行うことができる。

【 0 0 3 7 】

上部胴体 4 6 のほぼ中央には、1 つの全方位カメラ 5 2 と、1 つのマイク 2 4 とが設けられる。全方位カメラ 5 2 は、ロボット 1 2 の周囲を撮影するもので、後述の眼カメラ 5 4 と区別される。マイク 2 4 は、上述のように、周囲の音、とりわけ人の声を取り込む。

【 0 0 3 8 】

上部胴体 4 6 の両肩には、それぞれ、肩関節 5 6 R および 5 6 L によって、上腕 5 8 R および 5 8 L が取り付けられる。肩関節 5 6 R および 5 6 L は、それぞれ 3 軸の自由度を有する。すなわち、右肩関節 5 6 R は、X 軸、Y 軸および Z 軸の各軸廻りにおいて上腕 5 8 R の角度を制御できる。Y 軸は、上腕 5 8 R 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 5 6 L は、A 軸、B 軸および C 軸の各軸廻りにおいて上腕 5 8 L の角度を制御できる。B 軸は、上腕 5 8 L 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。

【 0 0 3 9 】

上腕 5 8 R および 5 8 L のそれぞれの先端には、肘関節 6 0 R および 6 0 L を介して、前腕 6 2 R および 6 2 L が取り付けられる。肘関節 6 0 R および 6 0 L は、それぞれ、W 軸および D 軸の軸廻りにおいて、前腕 6 2 R および 6 2 L の角度を制御できる。

【 0 0 4 0 】

なお、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（いずれも図 3）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 5 8 R および 5 8 L ならびに前腕 6 2 R および 6 2 L は下方向に向けられる。

【 0 0 4 1 】

また、図 3 では示さないが、上部胴体 4 6 の肩関節 5 6 R および 5 6 L を含む肩の部分や上述の上腕 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 4 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 4 2 】

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。なお、この球体 6 6 R および 6 6 L に代えて、この実施例のロボット 1 2 と異なり指の機能が必要な場合には、人の手の形をした「手」を用いることも可能である。

【 0 0 4 3 】

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。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 4 4 】

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 といひ、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 5 】

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 C C D や C M O S のように固体撮像素子を用いるカメラであってよい。

10

## 【 0 0 4 6 】

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、軸および軸の各軸廻りに角度制御可能である。軸および軸は頭部 7 0 に対して設定される軸であり、軸は頭部 7 0 の上へ向かう方向の軸であり、軸は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、軸は S 軸に平行し、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、眼球支持部が軸および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。

20

## 【 0 0 4 7 】

なお、眼カメラ 5 4 の変位を制御する軸および軸では、「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 3 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 8 】

図 4 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。図 4 に示すように、このロボット 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 C P U 7 6 を含み、この C P U 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 9 】

メモリ 8 0 は、図示しないが、R O M や H D D、R A M 等を含み、R O M または H D D 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。C P U 7 6 は、このプログラムに従って処理を実行する。また、R A M 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。

30

## 【 0 0 5 0 】

モータ制御ボード 8 2 は、たとえば D S P (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 8 2 は、C P U 7 6 からの制御データを受け、右肩関節 5 6 R 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 6 0 R の軸 W 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 4 ではまとめて、「右腕モータ」として示す。）8 8 の回転角度を調節する。また、モータ制御ボード 8 2 は、左肩関節 5 6 L 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 6 0 L の D 軸の角度を制御する 1 つのモータとを含む計 4 つのモータ（図 4 ではまとめて、「左腕モータ」として示す。）9 0 の回転角度を調節する。モータ制御ボード 8 2 は、また、首関節 6 8 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 4 ではまとめて、「頭部モータ」として示す。）9 2 の回転角度を調節する。モータ制御ボード 8 2 は、また、腰モータ 5 0、および車輪 3 4 を駆動する 2 つのモータ（図 4 ではまとめて、「車輪モータ」として示す。）3 6 を制御する。さらに、モータ制御ボード 8 2 は、右眼球部 7 4 R の軸および軸のそれぞれの角度を制御する 2 つのモータ（図 4 ではまとめて、「右眼球モータ」として示す。）9 4 の回転角度を調節し、また、左眼球部 7 4 L の軸および軸の

40

50

それぞれの角度を制御する２つのモータ（図４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。

【００５１】

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。

【００５２】

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。

10

【００５３】

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、それに応じて、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からの音声入力が、音声入力／出力ボード８６を介してＣＰＵ７６に取り込まれる。

【００５４】

20

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ＣＰＵ７６に与える。

【００５５】

この実施例では、たとえば人間１４が指差しをしたり、方向を指示する身振り（ジェスチャ）をしたりするような順路案内状況において、人間１４に対して協力的な動作（模倣動作や同調動作など）をロボット１２に行わせる場合が想定される。なお、模倣動作を含む協力的な動作を行う状況はこの順路案内状況に限定されるものではなく適宜変更され得る。

30

【００５６】

順路案内状況は、たとえば、ロボット１２が人間１４に対して「会議室へはどう行けばいいの？」と順路を尋ねる言葉を話し掛けたりすることによって引き起こされる。このような状況において、ロボット１２が、人間１４の動作に応じて、その動作に協力的な動作を実行する。つまり、たとえば、人間どうしのコミュニケーションでは、順路案内状況で人間が指差しをして方向を示すような特定動作を行った場合に、相手が同じように指差しをするという模倣動作がよく行われる。また、人間が指差しをして方向を示した場合にその方向に顔を向けたり、人間が発話も交えて順路案内を説明した場合には、相槌を打ったりうなずいたりする。このように、人間の動作に同調する動作もよく行われる。人間はこのような相手の動作に協力的な動作を無意識的に行って、円滑で自然なコミュニケーションを実現している。

40

【００５７】

そこで、この実施例では、模倣動作の一例として、人間１４が順路案内状況で特定動作を行ったとき、すなわち、順路を案内するために指差しをして方向を示したとき、ロボット１２は、人間１４の指した方向と同じ方向に指差し（方向を指し示すジェスチャ）をする。また、人間１４が指差しではなく手を動かしているとき、ロボット１２は人間１４と同じ動きをする。これらの場合において、模倣動作に使用するロボット１２の腕は、人間１４との衝突の危険性を考慮して選択され、したがって、模倣動作としては、同一の動作ばかりでなく類似する動作も行われる。このように、ロボット１２が、人間１４の動作の模倣動作、すなわち、人間１４の行動に類似するあるいは同一の行動を示すことによって

50

、人間14との間で自然で円滑なコミュニケーションを実現することができる。

【0058】

また、同調する動作の一例としては、人間14が順路を案内するために指差しをして方向を示したとき、ロボット12は人間14の指した方向を見る（顔を向ける）。また、ロボット12は、指差しがなされていないときなどには、人間14にアイコンタクトをする。また、人間14の発話の状態に応じて、相槌を打ったり、うなづいたりする。

【0059】

具体的には、人間14およびロボット12の身体動作は、モーションキャプチャシステム18によって計測され、各マーカ取付点の3次元位置座標データとして3次元動作計測データDB26に記憶される。また、人間14の発話は、ロボット12に設けられたマイク24によって取得され、発話計測データとしてロボット制御装置16の発話計測データDB22に記憶される。ロボット制御装置16は、3次元動作計測データDB26に記憶された身体動作データ（3次元動作計測データ）、および発話計測データDB22に記憶された発話に関するデータ（発話計測データ）に基づいて、人間14の状態をほぼリアルタイムに検出し、行動モジュールDB20に格納された複数の行動モジュールの中からロボット12に実行させるべき行動モジュールを選択する。

【0060】

図5には、行動モジュールDB20に記憶される複数の行動モジュールの内容の一例が示される。行動モジュールは、身体動作および発話を用いた行動をロボット12に実行させるためのプログラムであり、たとえばお辞儀、「こんにちは」と言う、抱っこするといった行動ごとに予め準備されている。この図5では、この実施例の順路案内状況において使用される協力的動作（模倣動作および同調動作）のための行動モジュールを含む複数の行動モジュールの一例が示されている。行動モジュールDB20では、右腕、左腕および頭の動作ならびに発話のための各行動モジュールが、各識別子に関連付けて記憶されている。

【0061】

右腕の動作に関しては、人間の右手と同じ動きをする行動モジュール（Rsr：識別子）、人間の左手と同じ動きをする行動モジュール（Rsl）、右手で指された方向を指差しする行動モジュール（Rpr）、左手で指された方向を指差しする行動モジュール（Rpl）、および何もしない行動モジュール（Rno）が記憶される。左腕の動作に関しては、人間の左手と同じ動きをする行動モジュール（Lsl）、人間の右手と同じ動きをする行動モジュール（Lsr）、右手で指された方向を指差しする行動モジュール（Lpr）、左手で指された方向を指差しする行動モジュール（Lpl）、および何もしない行動モジュール（Lno）が記憶される。頭の動作に関しては、アイコンタクトをする行動モジュール（Hec）、右手で指された方向を見る行動モジュール（Hrp）、左手で指された方向を見る行動モジュール（Hlp）、および、うなづく行動モジュール（Hnd）が記憶される。また、発話に関しては、「え？」という行動モジュール（Seh）、「うん」という行動モジュール（Sun）、「うんうん」という行動モジュール（Suu）、および「それで」という行動モジュール（Ssd）が記憶される。

【0062】

上記両腕および頭に関連した各行動モジュールでは、モーションキャプチャシステム18によって取得された3次元動作計測データに基づいて、両腕および頭の各関節の各軸モータ（右腕モータ88、左腕モータ90および頭部モータ92）の目標角度（角度制御データ）がそれぞれ算出される。たとえば、人間14の手と同じ動きをする行動モジュール（Rsr、Rsl、Lsl、Lsr）では、まず、3次元動作計測データに基づいて人間14の右手および左手の肩および肘の角度をそれぞれ計算する。そして、人間14がするのと同じ運動をロボット12が示すように、ロボット12の右腕の肩関節56Rおよび肘関節60R、ならびに左腕の肩関節56Lおよび肘関節60Lの各モータ（右腕モータ88および左腕モータ90）の目標角度を、人間14の右手および左手の角度に基づいてそれぞれ算出する。また、人間14が指した方向を指差しする行動モジュール（Rpr、R

10

20

30

40

50

p l、L p r、L p l)では、同様に、人間14の右手および左手の肩および肘の角度をそれぞれ計算する。そして、人間14が指した方向をロボット12が指差しするように、ロボット12の右腕モータ88または左腕モータ90の目標角度を、人間14の右手および左手の角度に基づいてそれぞれ算出する。また、何もしない行動モジュール(R n o、L n o)では、ロボット12の右腕モータ88および左腕モータ90の目標角度を、それぞれホームポジションを示す角度に変更するか、あるいは、現在と同じ角度に保持する。また、アイコンタクトをする行動モジュール(H e c)では、人間14の頭の方ベクトルおよびロボット12の頭部70の方ベクトルを算出して、これら2つのベクトルが反対方向を示すように、ロボット12の頭部70の望ましい角度すなわち頭部モータ92の目標角度を算出する。また、人間14が指差した方向を見る行動モジュール(H r p、H l p)では、まず、人間14の右手または左手の肩および肘の角度をそれぞれ算出する。そして、人間14が指した方向をロボット12が見るように、ロボット12の頭部モータ92の目標角度を算出する。なお、発話に関する行動モジュールでは、該当する発話内容を示す合成音声データ(発話内容データ)をH D D等から読み出す。

10

**【0063】**

このような行動モジュールの中から、ロボット制御装置16は、人間14の動作の状態に従って、適切な行動モジュールを選択する。選択の際には、人間14の動作の状態として、現在の動作の状態と過去の動作の状態とが検出される。

**【0064】**

現在の動作の状態としては、3次元動作計測データD B 2 6から取得された3次元動作計測データおよび発話計測データD B 2 2から取得された発話計測データに基づいて、この実施例では、次の6つの状態が判別される。

20

**【0065】**

すなわち、(1)人間14は右(または左)手で指差しをしているかが判別される。その結果、右手である場合には、指差しに関する状態を示す変数Pointに右手を示すデータが設定され、左手である場合には変数Pointに左手を示すデータが設定され、または、人間14が指差しをしていない場合には変数Pointに指差し無しを示すデータが設定される。人間14の行動が指差しであること条件は、たとえば、人間14の肩および肘の角度の値が所定の角度の範囲内にあることである。なお、変数Pointの初期値は無しを示すデータが設定される。(2)人間14はロボット12のどちら側(右または左)の方へ指差しをしているかが判別される。その結果、右である場合には、方向に関する状態を示す変数Directionに右を示すデータが設定され、左である場合には変数Directionに左を示すデータが設定される。なお、変数Directionの初期値は方向無しを示すデータが設定される。(3)右(または左)手は動いているかが判別される。詳しくは、右(または左)手の動きの速度が閾値以上かが判別される。その結果、両手である場合には、動きに関する状態を示す変数Moveに両手を示すデータが設定され、右手である場合には変数Moveに右手を示すデータが設定され、左手である場合には変数Moveに左手を示すデータが設定され、両手とも動いていない場合には変数Moveに動き無しを示すデータが設定される。なお、変数Moveの初期値は無しを示すデータが設定される。(4)人間14は順路案内(指差しまたは方向を示すジェスチャ等)のために右(または左)手を使用しているかが判別される。その結果、右手である場合には、使用に関する状態を示す変数Activeに右手を示すデータが設定され、左手である場合には変数Activeに左手を示すデータが設定され、使用されていない場合には変数Activeに使用無しを示すデータが設定される。詳しくは、この使用または活動の状態は、現在の状態および過去の状態に基づいて判定される。つまり、前回のActiveに設定された手、過去の一定時間における右および左手の動き、および現在のフレームにおける手の肩からの距離の3つの観点に基づいて、判定される。前回のActiveが無しに設定されている場合には、過去一定時間の動きの多い方の手がActiveに設定される。前回のActiveがどちらかの手である場合には、Activeに設定されていない方の手に関してその肩からの距離および過去一定時間の動きの両者が、Activeに設定されている方の手に関してその肩からの距離および過去一定時間の動きの両者よりも大きくなったときにのみ

30

40

50

、Activeに設定される手が切り替えられる。なお、変数Activeの初期値は無しを示すデータが設定される。(5)人間14はロボット12の右(または左)腕の当たるかもしれない場所にいるかが判別される。その結果、右手である場合には、衝突に関する状態を示す変数Hitに右手を示すデータが設定され、左手である場合には変数Hitに左手を示すデータが設定され、人間14が当たらない場所にいる場合には変数Hitに衝突無しを示すデータが設定される。なお、変数Hitの初期値は無しを示すデータが設定される。(6)人間14は発話しているかが判別される。詳しくは、発話に掛かった時間が計測されて、発話に関する変数Speechにその計測された発話時間が設定される。また、発話無しで経過している時間が計測されて変数Nospeechに設定される。なお、変数Speechおよび変数Nospeechの初期値はそれぞれゼロが設定される。

10

## 【0066】

また、過去の動作の状態としては、行動モジュールの過去の選出に基づいて、この実施例では、次の4つの状態が判別される。すなわち、(1)腕の動作の選択について、指差しに必ず行動モジュールRpr、Rpl、LprまたはLplは、過去一定時間続いているかが判別される。(2)頭の動作の選択について、頭に関連した行動モジュールは過去所定時間続いているかが判別される。(3)頭の動作の選択について、指差しに必ず行動モジュールHrpまたはHlpは過去一定時間続いているかが判別される。(4)発話の選択について、最後に選択された発話に関する行動モジュールは何であったかが判別される。

## 【0067】

20

ロボット制御装置16は、検出された人間14の動作の状態に基づいて、行動選択規則に従って、実行すべき行動モジュールを選択する。行動選択規則は、この実施例では、腕動作、頭動作および発話に関する各選択処理プログラムとしてHDD等に予め記憶されており、各選択処理プログラムに従って腕動作、頭動作および発話の各選択処理が実行される。この行動選択規則は、発明者等の実験によって得た知識に基づいて作成されている。そして、ロボット制御装置16は、選択した行動モジュールを実行することによって、必要に応じて上述のような各モータの目標角度の算出等を行って、当該行動の実行を指示する指令データをロボット12に送信する。送信される指令データには、この実施例では、身体動作に関する行動モジュールの場合には、当該行動を実現するための各モータの角度制御データ(目標角度データ)が含まれ、また、発話に関する行動モジュールの場合には発話の内容を示す発話内容データ(合成音声データ)が含まれる。

30

## 【0068】

ロボット12は、行動モジュール実行時には、ロボット制御装置16からの指令データを受信して、その指令データに基づいて当該行動を実行する。身体動作に関する指令データの場合には角度制御データに従って各モータが制御され、また、発話に関する指令データの場合には音声合成データに従って音声が出力される。このようにして、人間14の行動を模倣する行動あるいは同調する行動がロボット12によって実現される。

## 【0069】

図6には、ロボット制御装置16の順路案内状況における動作の一例が示される。図6の最初のステップS1で、ロボット制御装置16のCPUは、状態検出処理を実行する。この処理の動作は図7から図9に詳細に示される。

40

## 【0070】

図7の最初のステップS21で、モーションキャプチャシステム18のコンピュータを介して3次元動作計測データDB26から、人間14の身体動作の状態を検出するために必要な3次元動作計測データを取得する。次に、ステップS23で、人間14が右手で指差しをしているか否かを判断する。たとえば、3次元動作計測データに基づいて人間14の右肩および右肘の角度を算出して、それら角度が指差し状態を示す所定の角度範囲内にあるかどうか判定される。

## 【0071】

ステップS23で“YES”であれば、ステップS25で、指差しの状態を示す変数Po

50

intに右手を示すデータを設定する。続いて、ステップS 2 7で、人間1 4の右手がロボット1 2の右側を指しているか否かを判断する。たとえば、人間1 4の右の前腕の指す方向が、ロボット1 2の中心から見てロボット1 2の右腕の存在する側であるか、または左腕の存在する側であるかが判定される。ステップS 2 7で“ Y E S ”であれば、方向の状態を示す変数Directionに右を示すデータを設定する。一方、ステップS 2 7で“ N O ”であれば、つまり、人間1 4がロボット1 2の左側を指している場合には、ステップS 3 1で、変数Directionに左を示すデータを設定する。ステップS 2 9またはステップS 3 1を終了すると、処理はステップS 4 5へ進む。

【 0 0 7 2 】

一方、ステップS 2 3で“ N O ”であれば、ステップS 3 3で、人間1 4が左手で指差しをしているか否かを判断する。たとえば、人間1 4の左肩および左肘の角度を算出して、それら角度が指差し状態を示す所定の角度範囲内にあるかどうか判定される。

【 0 0 7 3 】

ステップS 3 3で“ Y E S ”であれば、ステップS 3 5で、変数Pointに左手を示すデータを設定する。続いて、ステップS 3 7で、人間1 4の左手がロボット1 2の右側を指しているか否かを判断する。たとえば、人間の左の前腕の指す方向が、ロボット1 2の中心から見てロボット1 2の右腕の存在する側であるか、または左腕の存在する側であるかが判定される。ステップS 3 7で“ Y E S ”であれば、変数Directionに右を示すデータを設定し、ステップS 3 7で“ N O ”であれば、変数Directionに左を示すデータを設定する。ステップS 3 9またはステップS 4 1を終了すると、処理はステップS 4 5へ進む。

【 0 0 7 4 】

また、ステップS 3 3で“ N O ”であれば、つまり、人間1 4が右手でも左手でも指差しをしていない場合には、ステップS 4 3で、変数Pointに指差し無しを示すデータを設定する。

【 0 0 7 5 】

ステップS 4 5では、人間1 4の右手が動いているか否かを判定する。たとえば、3次元動作計測データに基づいて人間1 4の右手の動く速度を算出して、その算出した速度が所定の閾値以上であるか否かが判定される。ステップS 4 5で“ N O ”であれば、ステップS 4 7で、人間1 4の左手が動いているか否かを判定する。たとえば、人間の左手の動く速度を算出して、その速度が所定の閾値以上であるかが判定される。ステップS 4 7で“ N O ”であれば、人間1 4の両手とも動いていないとみなして、ステップS 4 9で動きの状態を示す変数Moveに動き無しを示すデータを設定する。一方、ステップS 4 7で“ Y E S ”であれば、ステップS 5 1で変数Moveに左手を示すデータを設定する。また、ステップS 4 5で“ Y E S ”であれば、続くステップS 5 3で、上述のステップS 4 7と同様にして、人間1 4の左手が動いているか否かを判定する。ステップS 5 3で“ Y E S ”であれば、人間1 4の両手とも動いているとみなして、ステップS 5 5で変数Moveに両手を示すデータを設定する。一方、ステップS 5 3で“ N O ”であれば、ステップS 5 7で変数Moveに右手を示すデータを設定する。ステップS 4 9、S 5 1、S 5 5またはS 5 7を終了すると、処理は図8のステップS 5 9へ進む。

【 0 0 7 6 】

図8のステップS 5 9では、手の使用状態を示す変数Activeに無しを示すデータが設定されているか否かを判断する。ステップS 5 9で“ Y E S ”であれば、つまり、前回の処理の時点では順路案内のためにどちらの手も使用されていないと判定されていた場合等には、ステップS 6 1で、人間1 4の左手の過去一定時間(たとえば1秒)の動きが、右手の過去一定時間の動きよりも多いか否かを判定する。ステップS 6 1で“ Y E S ”であれば、左手が順路案内のために使用されているとみなして、ステップS 6 3で変数Activeに左手を示すデータを設定する。一方、ステップS 6 1で“ N O ”であれば、ステップS 6 5で、左手の過去一定時間の動きが、右手の過去一定時間の動き以下であるか否かを判定する。ステップS 6 5で“ Y E S ”であれば、右手が順路案内のために使用されているとみ

10

20

30

40

50

なして、ステップS 6 7で変数Activeに右手を示すデータを設定する。ステップS 6 5で“NO”であれば、つまり、どちらの手も過去一定時間の間に動きがない場合には、ステップS 6 9で変数Activeに無しを示すデータを設定する。ステップS 6 3、S 6 7またはS 6 9を終了すると、処理は図9のステップS 8 9へ進む。

【0077】

一方、ステップS 5 9で“NO”であれば、ステップS 7 1で、上述のステップS 6 1と同様にして、左手の動きが右手の動きよりも多いか否かを判断する。ステップS 7 1で“YES”であれば、ステップS 7 3で、現在のフレームの3次元動作計測データに基づいて、左手の肩からの距離が右手の肩からの距離よりも長いか否かを判断する。ここで、手の肩からの距離は、人間14の身体を真上から見た場合の手（手先ないし手首）と肩との距離である。ステップS 7 3で“YES”であれば、つまり、過去一定時間における左手の動きが右手の動きよりも多く、かつ、左手が右手よりも肩から離れている場合には、左手が順路案内のために使用されているものとみなして、ステップS 7 5で変数Activeに左手を示すデータを設定する。

10

【0078】

一方、ステップS 7 1で“NO”であれば、ステップS 7 7で、上述のステップS 6 5と同様にして、左手の動きが右手の動き以下であるか否かを判断する。ステップS 7 7で“YES”であれば、ステップS 7 9で、現在のフレームの3次元動作計測データに基づいて、左手の肩からの距離が右手の肩からの距離以下であるか否かを判断する。ステップS 7 9で“YES”であれば、つまり、過去一定時間における右手の動きが左手の動き以上であり、かつ、右手が左手以上に肩から離れている場合には、右手が順路案内のために使用されているものとみなして、ステップS 8 1で変数Activeに右手を示すデータを設定する。ステップS 7 5またはS 8 1を終了すると、処理は図9のステップS 8 9へ進む。

20

【0079】

一方、ステップS 7 3で“NO”である場合、ステップS 7 7で“NO”である場合、またはステップS 7 9で“NO”である場合には、処理はステップS 8 3へ進んで、前回と同じ手をActiveに設定する。つまり、ステップS 8 3では、変数Activeに左手を示すデータが設定されているか否かを判断する。ステップS 8 3で“YES”であれば、ステップS 8 5で変数Activeに左手を示すデータを設定し、ステップS 8 3で“NO”であれば、ステップS 8 7で変数Activeに右手を示すデータを設定して、処理は図9のステップS 8 9へ進む。

30

【0080】

図9のステップS 8 9では、人間14がロボット12の右手の当たるかもしれない場所にいるか否かを判断する。つまり、たとえば、3次元動作計測データに基づいて、ロボット12の右腕（球体66R、前腕62R、肘関節60R、上腕58Rおよび肩関節56R）の可動範囲に人間14が存在しているか否かが判定される。ステップS 8 9で“YES”であれば、ステップS 9 1で、衝突の状態を示す変数Hitに右手を示すデータを設定する。

【0081】

一方、ステップS 8 9で“NO”であれば、ステップS 9 3で、人間14がロボット12の左手の当たるかもしれない場所にいるか否かを判断する。たとえば、ロボット12の左腕（球体66L、前腕62L、肘関節60L、上腕58Lおよび肩関節56L）の可動範囲に人間14が存在しているか否かが判定される。ステップS 9 3で“YES”であれば、ステップS 9 5で変数Hitに左手を示すデータを設定する。

40

【0082】

また、ステップS 9 3で“NO”であれば、ステップS 9 7で、ロボット12の両手と人間14とが衝突するおそれがないので、変数Hitに無しを示すデータを設定する。

【0083】

続いて、ステップS 9 9で、発話計測データDB 2 2から人間14の発話状態を検出するために必要な発話計測データを取得する。この発話計測データに基づいて、ステップS

50

101で、人間14が話しているか否かを判断する。

【0084】

ステップS101で“YES”であれば、ステップS103で発話時間Speechの計測処理を実行する。たとえば、発話開始の検出に応じて発話時間のカウンタを開始し、発話終了を検出するまで発話時間のカウンタを継続し、発話終了を検出したとき変数Speechに計測した発話時間を設定する。

【0085】

一方、ステップS101で“NO”であれば、ステップS105で、発話なし時間Nosp eechの計測処理を実行する。たとえば、発話終了の検出に応じて発話なし時間のカウンタを開始し、発話開始を検出するまで発話なし時間のカウンタを継続するとともに、変数Nosp eechに発話なし時間を設定する。ステップS103またはS105を終了すると、この状態検出処理を終了する。

10

【0086】

図6に戻って、ステップS1を終了すると、ステップS3で腕動作選択処理を実行する。この腕の行動モジュールを選択するための処理の動作は図10から図12に詳細に示される。

【0087】

図10の最初のステップS131で、腕動作に関する前回の行動モジュールが指差しの何れか(Rpr、Rpl、LprまたはLpl)であったか否かを判断する。ステップS131で“YES”であれば、ステップS133で指差し動作Rpr、Rpl、LprまたはLplが一定時間以上続いているか否かを判断する。ステップS133で“NO”であれば、つまり、指差しの行動モジュールが一定時間以上続いていない場合には、その行動モジュールの実行を継続すべく、ステップS135で、前回と同じ行動モジュールを選択する。ステップS135を終了すると、この腕動作選択処理を終了する。

20

【0088】

一方、ステップS133で“YES”であれば、つまり、指差しの行動モジュールが一定時間以上続いている場合には、ステップS1で検出された状態に応じた行動モジュールの再選択を行うべく、処理はステップS137へ進む。これによって、ロボット12が指差しを模倣する動作を長々と続けるようなことがなく、その模倣動作の実現される時間を適切なものにすることができ、自然な模倣動作を実現できる。また、ステップS131で“NO”であれば、同様に、ステップS137へ進む。

30

【0089】

ステップS137では、指差しの状態を示す変数Pointに左手を示すデータが設定されているか否かを判断する。ステップS137で“YES”であれば、ステップS139で、使用の状態を示す変数Activeに左手を示すデータが設定されているか否かを判断する。ステップS139で“YES”であれば、衝突の状態を示す変数Hitに左手を示すデータが設定されているか否かを判断する。ステップS141で“YES”であれば、つまり、人間14が左手を使用して指差し動作を行っていて、かつ、ロボット12の左腕の当たり得る位置に存在している場合には、ステップS143で、左手で指された方向を右腕で指差すための行動モジュールRplを選択する。

40

【0090】

このように、人間14の身体動作をそのまま真似をすると人間14にぶつかる恐れのある場合には、模倣動作として、使用する腕を変更した類似する動作を選択する。したがって、人間14の動作を模倣する動作を安全に行うことができ、円滑で自然なコミュニケーションを実現できる。

【0091】

一方、ステップS141で“NO”であれば、ステップS145で変数Hitに右手を示すデータが設定されているか否かを判断する。ステップS145で“YES”であれば、つまり、人間14が左手を使用して指差し動作を行っていて、かつ、ロボット12の右腕の当たり得る位置に存在している場合には、ステップS147で、左手で指された方向を

50

左腕で指差すための行動モジュールL p lを選択する。この場合、安全が確保されているので、模倣動作として、同じ腕を使用する同一の動作を選択する。

【0092】

また、ステップS 1 4 5で“NO”であれば、つまり、変数Hitに無しを示すデータが設定されている場合には、ステップS 1 4 9で、指差しの方向を示す変数Directionに右を示すデータが設定されているか否かを判断する。ステップS 1 4 9で“YES”であれば、つまり、人間14がロボット12の腕の当たり得る位置に存在せず、かつ、左手でロボット12から見て右側を指している場合には、ステップS 1 5 1で、左手で指された方向を右腕で指差すための行動モジュールR p lを選択する。

【0093】

一方、ステップS 1 4 9で“NO”であれば、つまり、変数Directionに左を示すデータが設定されている場合、つまり、人間14がロボット12の腕の当たり得る位置に存在せず、かつ、左手でロボット12から見て左側を指している場合には、ステップS 1 5 3で、左手で指された方向を左腕で指差すための行動モジュールL p lを選択する。

【0094】

このように、安全性が確保されている場合には、人間14の指している方向に対応する側の腕を使用した模倣動作を選択する。したがって、ロボット12は、指差しする方向と同じ側の腕を使用するので、人間14の動作を模倣する動作をより自然な形で行うことができ、自然で円滑なコミュニケーションを実現することができる。

【0095】

ステップS 1 4 3、S 1 4 7、S 1 5 1またはS 1 5 3を終了すると、ステップS 1 3 3等での判断に使用するために指差し動作時間のカウントを開始して、この腕動作選択処理を終了する。

【0096】

また、ステップS 1 3 9で“NO”であれば、つまり、左手で指差しをしている状態ではあるが、左手を使用していると認められない場合には、左手による指差しが終わっているとみなして、ステップS 1 5 5で、右腕および左腕で何もしない動作をするための行動モジュールR n oおよびL n oを選択する。このように、人間14が動作に使用する手を検出するようにしたので、動作が変化するときの的確に対応することができる。つまり、動作が変更されても模倣動作をし続けるようなことがないので、自然で違和感のない模倣動作を実現できる。ステップS 1 5 5を終了すると、この腕動作選択処理を終了する。

【0097】

また、ステップS 1 3 7で“NO”であれば、ステップS 1 5 7で変数Pointに右手を示すデータが設定されているか否かを判断する。ステップS 1 5 7で“YES”であれば、処理は図11のステップS 1 5 9へ進む。

【0098】

図11のステップS 1 5 9では、変数Activeに右手を示すデータが設定されているか否かを判断する。ステップS 1 5 9で“YES”であれば、ステップS 1 6 1で変数Hitに右手を示すデータが設定されているか否かを判断する。ステップS 1 6 1で“YES”であれば、つまり、人間14が右手を使用して指差し動作を行っていて、かつ、ロボット12の右腕の当たり得る位置に存在している場合には、ステップS 1 6 3で、右手で指された方向を左腕で指差すための行動モジュールL p rを選択する。このようにして、安全に模倣動作を行うことができる。

【0099】

一方、ステップS 1 6 1で“NO”であれば、ステップS 1 6 5で変数Hitに左手を示すデータが設定されているか否かを判断する。ステップS 1 6 5で“YES”であれば、つまり、人間14が右手を使用して指差し動作を行っていて、かつ、ロボット12の左腕の当たり得る位置に存在している場合には、ステップS 1 6 7で、右手で指された方向を右腕で指差すための行動モジュールR p rを選択する。

【0100】

10

20

30

40

50

また、ステップS 1 6 5で“NO”であれば、つまり、変数Hitに無しを示すデータが設定されている場合には、ステップS 1 6 9で、変数Directionに右を示すデータが設定されているか否かを判断する。ステップS 1 6 9で“YES”であれば、つまり、人間14がロボット12の腕の当たり得る位置に存在せず、かつ、右手でロボット12から見て右側を指している場合には、ステップS 1 7 1で、右手で指された方向を右腕で指差すための行動モジュールR p rを選択する。

【0101】

一方、ステップS 1 6 9で“NO”であれば、つまり、変数Directionに左を示すデータが設定されている場合、つまり、人間14がロボット12の腕の当たり得る位置に存在せず、かつ、右手でロボット12から見て左側を指している場合には、ステップS 1 7 3

10

【0102】

ステップS 1 6 3、S 1 6 7、S 1 7 1またはS 1 7 3を終了すると、ステップS 1 3 3等での判断に使用するために指差し動作時間のカウントを開始して、この腕動作選択処理を終了する。

【0103】

また、ステップS 1 5 9で“NO”であれば、つまり、右手で指差しをしている状態であるが、右手を使用していると認められない場合には、右手による指差しが終わっているとみなして、図10のステップS 1 5 5で、行動モジュールR n oおよびL n oを選択する。

20

【0104】

また、図10のステップS 1 5 7で“NO”であれば、つまり、変数Pointに無しを示すデータが設定されている場合には、処理は図12のステップS 1 7 5へ進む。

【0105】

図12のステップS 1 7 5では、変数Hitに無しを示すデータが設定されているか否かを判断する。ステップS 1 7 5で“YES”であれば、ステップS 1 7 7で動きの状態を示す変数Moveに両手を示すデータが設定されているか否かを判断する。ステップS 1 7 7で“YES”であれば、つまり、人間14が指差しではなく両手を動かして、かつ、ロボット12の腕の当たり得る位置に存在していない場合には、ステップS 1 7 9で、右腕で人間14の右手と同じ動きをする行動モジュールR s r、および左腕で人間14の左手と同じ動きをする行動モジュールL s lを選択する。このように、この実施例では、人間14が指差しを行っていない場合でも、安全が確保されていれば、模倣動作を実行させる。

30

【0106】

一方、ステップS 1 7 7で“NO”であれば、ステップS 1 8 1で変数Moveに右手を示すデータが設定されているか否かを判断する。ステップS 1 8 1で“YES”であれば、つまり、人間14が指差しではなく右手を動かして、かつ、ロボット12の腕の当たり得る位置に存在していない場合には、ステップS 1 8 3で、行動モジュールR s rを選択する。

40

【0107】

また、ステップS 1 8 1で“NO”であれば、ステップS 1 8 5で変数Moveに左手を示すデータが設定されているか否かが判断される。ステップS 1 8 5で“YES”であれば、つまり、人間14が指差しではなく左手を動かして、かつ、ロボット12の腕の当たり得る位置に存在していない場合には、ステップS 1 8 7で行動モジュールL s lを選択する。なお、ステップS 1 7 9、S 1 8 3またはS 1 8 7を終了すると、この腕動作選択処理を終了する。

【0108】

また、ステップS 1 8 5で“NO”であれば、つまり、変数Moveに無しを示すデータが設定されている場合には、人間14が手を動かしていないものとみなして、図10のステ

50

ップS 155へ進んで、行動モジュールR n oおよびL n oを選択する。

【0109】

一方、図12のステップS 175で“NO”であれば、つまり、人間14がロボット12の腕の当たり得る位置に存在している場合には、ステップS 189で、変数Activeに右手を示すデータが設定されているか否かを判断する。ステップS 189で“YES”であれば、ステップS 191で変数Hitに右手を示すデータが設定されているか否かを判断する。ステップS 191で“NO”であれば、つまり、人間14が指差しではないが右手を使用していて、かつ、ロボット12の左腕の当たり得る位置に存在している場合には、ステップS 193で行動モジュールR s rを選択する。

【0110】

一方、ステップS 191で“YES”であれば、つまり、変数Hitに右手を示すデータが設定されている場合、つまり、人間14が指差しではないが右手を使用していて、かつ、ロボット12の右腕の当たり得る位置に存在している場合には、ステップS 195で、左腕で人間14の右手と同じ動きをするための行動モジュールL s rを選択する。この場合にも、使用する腕を変更して模倣動作を安全に行うことができる。ステップS 193またはS 195を終了すると、この腕動作選択処理を終了する。

【0111】

一方、ステップS 189で“NO”であれば、ステップS 197で変数Activeに左手を示すデータが設定されているか否かを判断する。ステップS 197で“YES”であれば、ステップS 199で変数Hitに左手を示すデータが設定されているか否かを判断する。ステップS 199で“YES”であれば、つまり、人間14が指差しではなく左手を使用していて、かつ、ロボット12の左腕の当たり得る位置に存在している場合には、ステップS 201で、右腕で人間14の左手と同じ動きをするための行動モジュールR s lを選択する。この場合にも、腕を替えて人間14の模倣動作を安全に行うことができる。

【0112】

一方、ステップS 199で“NO”であれば、つまり、変数Hitに右手を示すデータが設定されている場合、つまり、人間14が指差しではなく左手を使用していて、かつ、ロボット12の右腕の当たり得る位置に存在している場合には、ステップS 203で行動モジュールL s lを選択する。ステップS 201またはS 203を終了すると、この腕動作選択処理を終了する。

【0113】

また、ステップS 197で“NO”であれば、つまり、変数Activeに無しを示すデータが設定されている場合、つまり、人間14が指差しをせず、かつ、両手とも使用せず、かつ、ロボット12のどちらかの腕に当たり得る位置に存在している場合には、図10のステップS 155で行動モジュールR n oおよびL n oを選択する。

【0114】

図6に戻って、ステップS 3の腕動作選択処理を終了すると、ステップS 5で頭動作選択処理を実行する。この頭の行動モジュールを選択するための処理の動作は図13に詳細に示される。

【0115】

図13の最初のステップS 221で、頭動作に関する前回の行動モジュールが所定時間以上続いているか否かを判断する。ステップS 221で“NO”であれば、前回の行動モジュールの実行を継続すべく、ステップS 223で前回と同じ行動モジュールを選択する。ステップS 223を終了すると、この頭動作選択処理を終了する。

【0116】

一方、ステップS 221で“YES”であれば、ステップS 225で、前回の行動モジュールが、指差しに同調するあるいは協力的な頭動作、すなわち、右手で指された方向を見るための行動モジュールH r pまたは左手で指された方向を見るための行動モジュールH l pであったか否かを判断する。ステップS 225で“NO”であれば、人間14の動作状態に応じて行動モジュールを選択すべく、処理はステップS 229へ進む。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 1 7 】

一方、ステップS 2 2 5で“ Y E S ”であれば、ステップS 2 2 7で、指差しに応じた行動モジュールH r pまたはH l pは一定時間以上続いているか否かを判断する。なお、ステップS 2 2 7で判定される一定時間は、ステップS 2 2 1で判定される所定時間よりも長い時間であって、たとえば人間1 4の指差し動作に対して同調したとみなされるのに十分な時間が設定されている。ステップS 2 2 7で“ N O ”であれば、人間1 4の状態に応じた動作を行うべく、処理はステップS 2 2 9へ進む。

## 【 0 1 1 8 】

ステップS 2 2 9では、変数Pointに左手を示すデータが設定されているか否かを判断する。ステップS 2 2 9で“ Y E S ”であれば、つまり、行動モジュールH r pまたはH l pが一定時間以上続いておらず、かつ、人間1 4が左手で指差しを行っている場合には、あるいは、前回の行動モジュールが指差しに同調する動作H r pおよびH l p以外であり、かつ、人間1 4が左手で指差しを行っている場合には、ステップS 2 3 1で、行動モジュールH l pを選択する。

10

## 【 0 1 1 9 】

一方、ステップS 2 2 9で“ N O ”であれば、ステップS 2 3 3で変数Pointに右手を示すデータが設定されているか否かを判断する。ステップS 2 3 3で“ Y E S ”であれば、つまり、行動モジュールH r pまたはH l pが一定時間以上続いておらず、かつ、人間1 4が右手で指差しを行っている場合には、あるいは、前回の行動モジュールが指差しに協力的な動作H r pおよびH l p以外であり、かつ、人間1 4が右手で指差しを行っている場合には、ステップS 2 3 5で、行動モジュールH r pを選択する。

20

## 【 0 1 2 0 】

ステップS 2 3 1またはS 2 3 5を終了すると、ステップS 2 2 1およびステップS 2 2 7等での判定に使用するために頭動作に関する行動モジュールの実行時間のカウントを開始して、この頭動作選択処理を終了する。ただし、ステップS 2 2 7で“ N O ”と判断されていた場合には、カウント開始を実行せずに、この頭動作選択処理を終了する。

## 【 0 1 2 1 】

また、ステップS 2 3 3で“ N O ”であれば、つまり、変数Pointに無しを示すデータが設定されている場合、つまり、人間1 4が指差しを行っていない場合には、ステップS 2 3 7で、アイコンタクトをするための行動モジュールH e cを選択する。なお、ステップS 2 2 7で“ Y E S ”である場合、つまり、人間1 4の指差しに十分な時間同調した場合にも、ステップS 2 3 7で行動モジュールH e cを選択する。ステップS 2 3 7を終了すると、ステップS 2 2 1等での判定に使用するために頭動作に関する行動モジュールの実行時間のカウントを開始して、この頭動作選択処理を終了する。

30

## 【 0 1 2 2 】

図6に戻って、ステップS 5を終了すると、ステップS 7で、発話選択処理を実行する。この発話の行動モジュールを選択するための処理の動作は図1 4に詳細に示される。

## 【 0 1 2 3 】

図1 4の最初のステップS 2 5 1で、人間1 4が発話した時間を示す変数Speechの値がたとえば1秒以上2秒未満であるか否かを判断する。ステップS 2 5 1で“ Y E S ”であれば、ステップS 2 5 3で発話に関する前回の行動モジュールが「え？」と発話するための行動モジュールS e hであるか否かを判断する。ステップS 2 5 3で“ N O ”であれば、ステップS 2 5 5で行動モジュールS e hを選択する。この場合、人間1 4の発話時間が短いので、ロボット1 2は聞き取れなかったことを表現する。また、ステップS 2 5 3で“ Y E S ”であれば、この発話選択処理を終了する。

40

## 【 0 1 2 4 】

一方、ステップS 2 5 1で“ N O ”であれば、ステップS 2 5 7で変数Speechの値がたとえば2秒以上5秒未満であるか否かを判断する。ステップS 2 5 7で“ Y E S ”であれば、ステップS 2 5 9で、「うん」と発話するための行動モジュールS u n、および、うなづくための行動モジュールH n dを選択する。この場合、人間1 4の発話時間が適度な

50

長さであるので、ロボット12は普通に相槌を打つ。なお、ここでは頭動作に関する行動モジュールも一緒に選択される。

【0125】

また、ステップS257で“NO”であれば、ステップS261で変数Speechがたとえば5秒以上であるか否かを判断する。ステップS261で“YES”であれば、ステップS263で、「うんうん」と発話するための行動モジュールSuu、および、うなづくための行動モジュールHndを選択する。この場合、人間14の発話時間が比較的長いので、ロボット12はその長い発話に応じた相槌を打つ。

【0126】

一方、ステップS261で“NO”であれば、ステップS265で発話なし時間を示す変数Nospeechがたとえば3秒以上であるか否かを判断する。ステップS265で“YES”であれば、ステップS267で、「それで」と発話するための行動モジュールSsdを選択する。この場合、人間14の無言の時間が長くなったので、ロボット12は人間14の話の先へ促す。

10

【0127】

ステップS255、S259、S263またはS267を終了すると、または、ステップS265で“NO”であれば、この発話選択処理を終了する。

【0128】

図6に戻って、ステップS7を終了すると、ステップS9で、行動モジュールを実行するか否かを判断する。行動モジュールは、たとえば、腕、頭または発話に関する行動モジュールの各選択が変更された場合、または、各行動モジュールの実行に要する所定時間が経過した場合等に実行される。

20

【0129】

ステップS9で“NO”であれば、行動モジュールを実行せずに、処理はステップS15へ進む。一方、ステップS9で“YES”であれば、ステップS11で、反応の遅延時間が経過したか否かを判断する。人間14が何かを行うときに、ロボット12がこの種の模倣動作や同調動作（たとえば、人間14が指差しをするときに、ロボット12の頭がすぐに同じ方向を向く）を即座に実行するならば、明らかに不自然である。したがって、発明者等は、人間同士のコミュニケーション実験において取得した反応の遅延時間をこのロボット制御装置16に実装し、ロボット12が所定の遅延時間経過後に模倣動作や同調動作を行うようにしている。発明者等の実験によれば、反応遅延時間は平均的には0.89秒であれば自然な振る舞いに感じられるので、所定の遅延時間としては、この値、あるいはその近傍の値（たとえば1秒程度）を設定する。

30

【0130】

ステップS11で“YES”であれば、つまり、実行すべき行動モジュール（すなわち、選択に変更のあった行動モジュール、もしくは所定時間経過した行動モジュール）が選択されてから所定の遅延時間が経過した場合には、ステップS13で、行動モジュール実行処理を実行する。この処理の動作の詳細は図15に示される。

【0131】

図15の最初のステップS281で、実行すべき行動モジュールを行動モジュールDB20から読み出して、起動する。これによって、腕動作または頭動作に関する行動モジュールの場合には、たとえば3次元動作計測データを用いながら、各モータの目標角度が算出される。また、発話に関する行動モジュールの場合には、発話内容データがHDD等から読み出される。

40

【0132】

そして、ステップS283で、各モータの目標角度データ（角度制御データ）または発話内容データを含む指令データを生成して、この指令データをロボット12に送信する。

【0133】

続いて、ステップS285で実行すべき行動モジュールが残っているか否かを判断して、“YES”であれば、その行動モジュールについて、ステップS281およびS283

50

の処理を実行する。ステップS 2 8 5で“NO”であれば、この行動モジュール実行処理を終了する。

【0134】

図6に戻って、ステップS 1 5では、模倣動作ないし同調動作を終了するか否かを判断する。たとえば、人間14が立ち去った等、順路案内状況が終了したか否かが判定される。ステップS 1 5で“NO”であれば、処理はステップS 1に戻る。ステップS 1 5で“YES”であれば、この順路案内状況における行動の処理を終了する。

【0135】

図16には、ロボット12の行動モジュール実行時の動作の一例が示される。ステップS 3 0 1で、ロボット12のCPU 7 6は、ロボット制御装置16からの指令データを受信したか否かを判断する。ステップS 3 0 1で“NO”であれば、この行動モジュール実行時の処理を終了する。

10

【0136】

一方、ステップS 3 0 1で“YES”であれば、ステップS 3 0 3で、指令データが身体動作に関するか否かを判断する。ステップS 3 0 3で“YES”であれば、ステップS 3 0 5で、目標角度データをモータ制御ボード82に与えて、各モータ88、90または92を制御する。協力的な動作を実現する行動モジュールが選択されていた場合には、ロボット12の右腕、左腕または頭部は、人間14の動作の状態に応じた模倣動作または同調動作を示すこととなる。

【0137】

20

また、ステップS 3 0 3で“NO”であれば、つまり、指令データが発話に関するデータである場合には、ステップS 3 0 7で、発話内容データを音声入力/出力ボード86に与えて、スピーカ72からその音声出力する。これによって、ロボット12は人間14の動作の状態に応じた発話を行う。ステップS 3 0 5またはS 3 0 7を終了すると、この処理を終了する。

【0138】

この実施例によれば、人間14の模倣をする際に、人間14とロボット12の身体動作データを計測して、その身体動作データに基づいて人間14の動作の状態を検出し、その検出された状態に適切な行動モジュールを選択するようにしている。したがって、人間14の動作の状態に応じて適切な模倣動作をロボット12に実行させることができ、自然で円滑なコミュニケーションを実現できる。

30

【0139】

また、この実施例では、人間14の動作を模倣する動作に加えて、たとえば指された方向に顔を向ける動作や発話に応じた相槌等のような人間14の動作に同調する動作も、検出された状態に応じて選択するようにしたので、人間14の行動に同調する動作もロボット12に適切に実行させることができる。したがって、人間14に協力的な動作をロボット12に適切に実行させることによって、人間14とロボット12との間で自然かつ円滑なコミュニケーションを実現できる。

【0140】

被験者を使用した発明者等の実験によれば、ロボット12が相互作用する人間(被験者)に対応する協力的な行動(上述の実施例における模倣動作および同調動作)を実行することによって、人間はロボット12と円滑にコミュニケーションをすることができるということが証明されている。また、この実験では、身体動作因子に関しては、傾聴、共有および共感の観点において重要な効果があり、発話因子に関しては、共有の観点において重要な効果があることが検証されている。さらに、身体動作因子および発話因子の両方が、共感するコミュニケーションの観点、および信頼できるコミュニケーションの観点に影響を及ぼすことが検証されている。したがって、身体動作因子と発話因子の調和によって、共感かつ信頼できるコミュニケーションが促進され、より円滑なコミュニケーションが実現できるのである。

40

【0141】

50

なお、上述の実施例では、人間 14 の発話の音量を計測して発話時間の長さに応じて行動モジュールを選択するようにしている。しかしながら、ロボット制御装置 16 に音声認識のためのプログラムおよびデータを備えさせるようにしてもよい。つまり、この場合には、ロボット制御装置 16 は、人間 14 の発話の音声データを取得して音声認識をすることによってその発話内容を検出し、検出した発話内容に応じて発話または身体動作に関する行動モジュールを選択することが可能である。

【0142】

また、上述の各実施例では、ロボット 12 の腕、頭、眼などの身体部位を駆動するアクチュエータとして電力を駆動源とするモータを用いた。しかしながら、ロボット 12 は、たとえば空気圧（または負圧）、油圧、圧電素子あるいは形状記憶合金などによる他のアクチュエータによって身体表現をするロボット 12 であってもよい。

【0143】

また、上述の各実施例では、ロボット 12 に模倣動作などの協力的な動作を実行させるようにしていた。しかしながら、この発明にかかる動作生成システム 10 では、人間 14 およびロボット 12 の動作をたとえばモーションキャプチャシステム 18 やマイク 24 でリアルタイムに検出してその動作に関するデータ（身体動作データおよび発話に関するデータ）を生成することが可能であるので、ロボット 12 には、人間 14 の動作に協力的な動作よりも広い範囲で、人間 14 の動作に対応する動作を適切に実行させることができる。たとえば、ロボット 12 と人間 14 とがお別れする状況や再会した状況などにおいて、人間 14 が手を上げたときにロボット 12 がその人間 14 に抱きつくようにすることも可能である。もちろんこのような抱きつき動作を実現するための行動モジュールを行動モジュール DB 20 に予め記憶しておく。また、人間 14 が手を上げたときに、この抱きつき動作のための行動モジュールが、人間 14 の動作の状態（Hit、Active など）に応じて選択される腕動作選択処理プログラムもロボット制御装置 16 に記憶される。この場合には、ロボット 12 の手先の動きの範囲を算出し、人間 14 との相対位置関係を検出するとともに、手や腕などに配置しているタッチセンサ 64 の信号によって人間 14 を適切に抱きしめることができる。また、タッチセンサ 64 がオン/オフの 2 値を検出するものでなく、接触の強さ（圧力）を検知可能なセンサである場合、たとえば、本件出願人が平成 15 年 3 月 24 日付けで出願した特願 2003 - 80106 号で詳細に示した皮膚センサ等である場合には、抱きつき時のセンサ出力を検出することによって、人間 14 をきつく締め付けることがないようにすることも可能である。

【0144】

また、上述の各実施例では、ロボット 12 とは別個にロボット制御装置 16 を設けるようにしたが、ロボット制御装置 16 の機能、すなわち、模倣動作を行うためのプログラム等を、行動モジュール DB 20 および発話計測データ DB 22 を含めてロボット 12 に内蔵するようにしてもよい。

【0145】

また、上述の各実施例では、コミュニケーションの相手は人間 14 であったが、ロボット 12 の相手は人間に限られず、たとえば他のコミュニケーションロボットであってもよい。

【図面の簡単な説明】

【0146】

【図 1】この発明の一実施例の動作生成システムの概要を示す図解図である。

【図 2】マーカの取付位置の一例を示す図解図である。

【図 3】図 1 のコミュニケーションロボットの外觀の一例を示す図解図（正面図）である。

【図 4】図 1 のコミュニケーションロボットの電氣的構成の一例を示すブロック図である。

【図 5】図 1 の行動モジュール DB に記憶される行動モジュールの内容の一例を示す図解図である。

【図 6】図 1 のロボット制御装置の真似時の動作の一例を示すフロー図である。

【図 7】図 6 の状態検出処理の動作の一例の一部を示すフロー図である。

【図 8】図 7 の続きの一部を示すフロー図である。

【図 9】図 8 の続きを示すフロー図である。

【図 10】図 6 の腕動作選択処理の動作の一例の一部を示すフロー図である。

【図 11】図 10 の続きの一部を示すフロー図である。

【図 12】図 10 の続きの他の一部を示すフロー図である。

【図 13】図 6 の頭動作選択処理の動作の一例を示すフロー図である。

【図 14】図 6 の発話選択処理の動作の一例を示すフロー図である。

【図 15】図 6 の行動モジュール実行処理の動作の一例を示すフロー図である。

10

【図 16】図 1 のコミュニケーションロボットの行動時の動作の一例を示すフロー図である。

【符号の説明】

【 0 1 4 7 】

1 0 ... 動作生成システム

1 2 ... コミュニケーションロボット

1 4 ... 人間

1 6 ... ロボット制御装置

1 8 ... モーションキャプチャシステム

2 0 ... 行動モジュール D B

20

2 4 ... マイク

5 6 R , 5 6 L ... 肩関節

5 8 R , 5 8 L ... 上腕

6 0 R , 6 0 L ... 肘関節

6 2 R , 6 2 L ... 前腕

6 8 ... 首関節

7 0 ... 頭部

8 2 ... モータ制御ボード

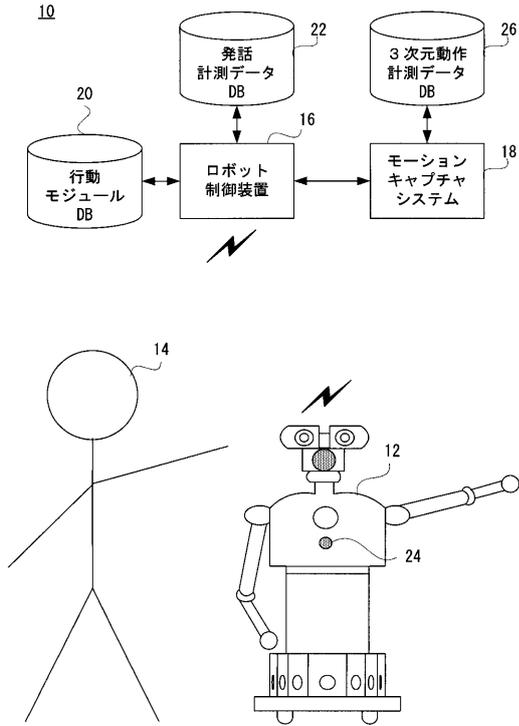
8 8 ... 右腕モータ

9 0 ... 左腕モータ

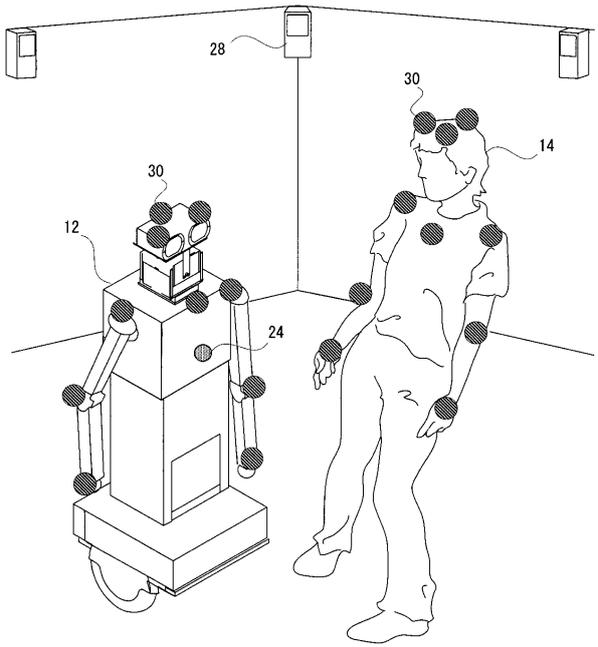
30

9 2 ... 頭部モータ

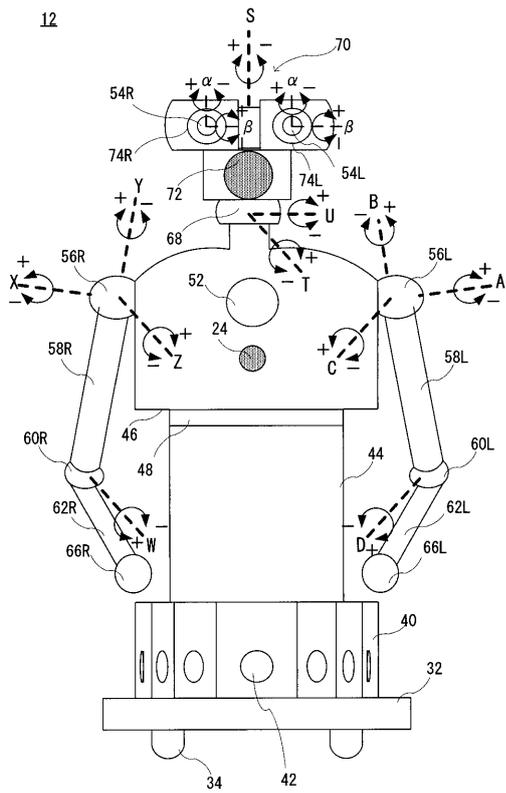
【図1】



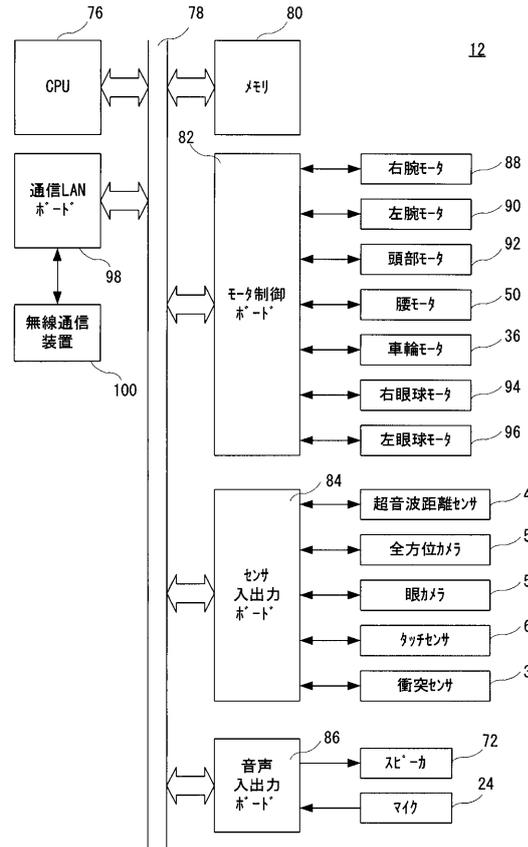
【図2】



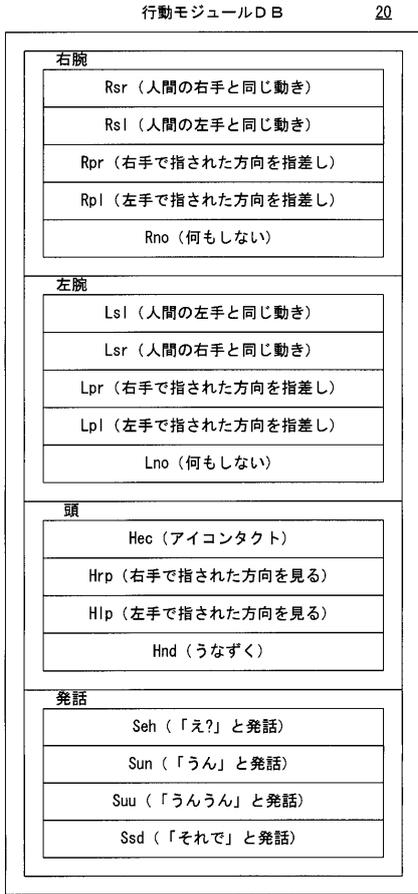
【図3】



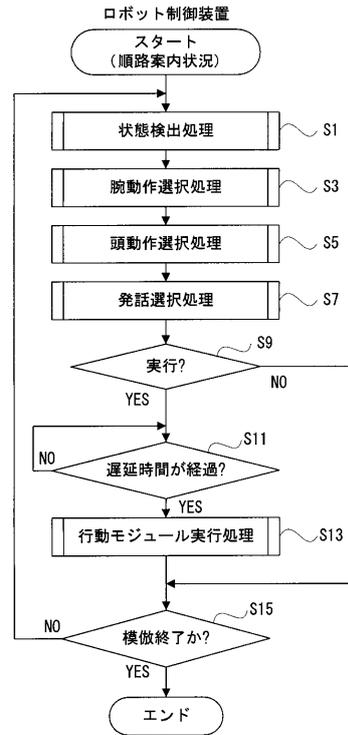
【図4】



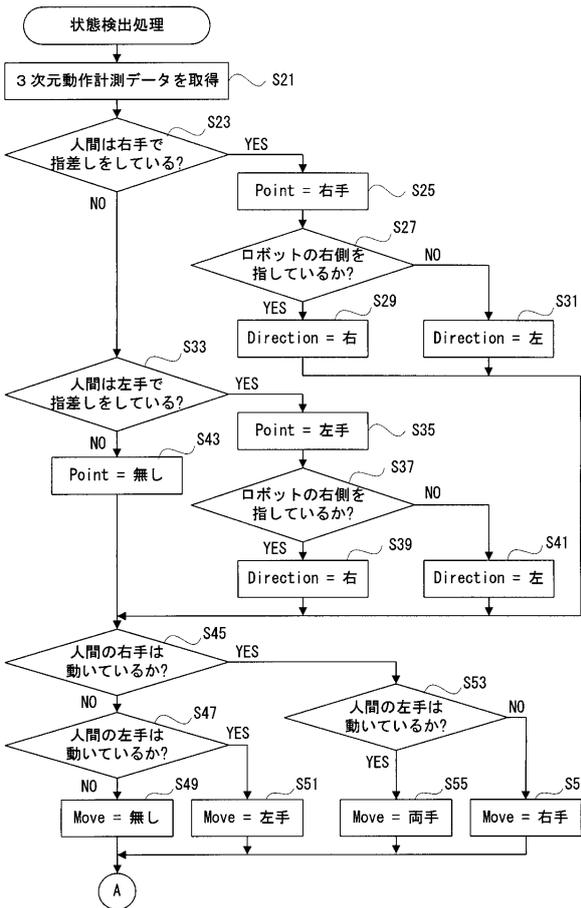
【図5】



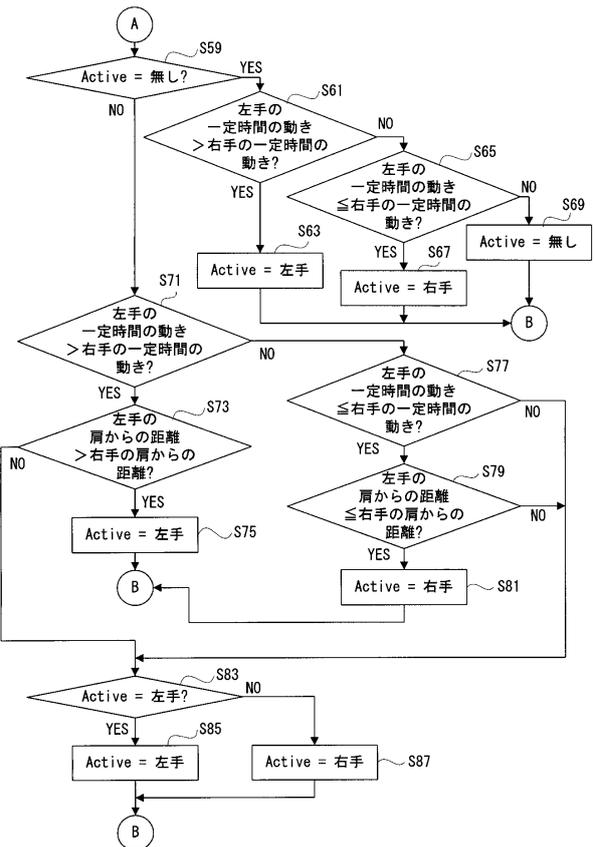
【図6】



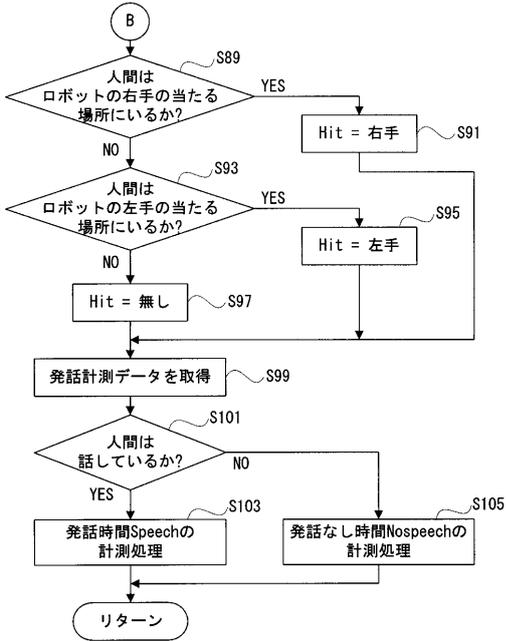
【図7】



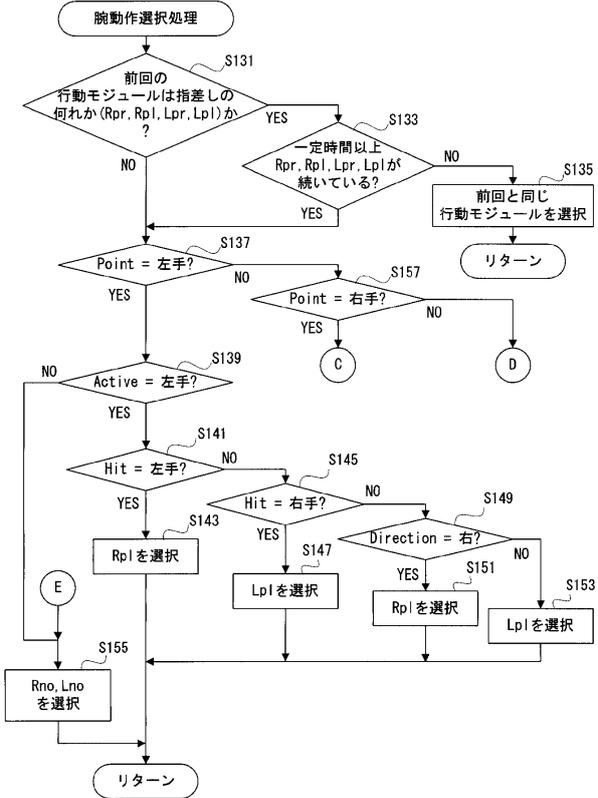
【図8】



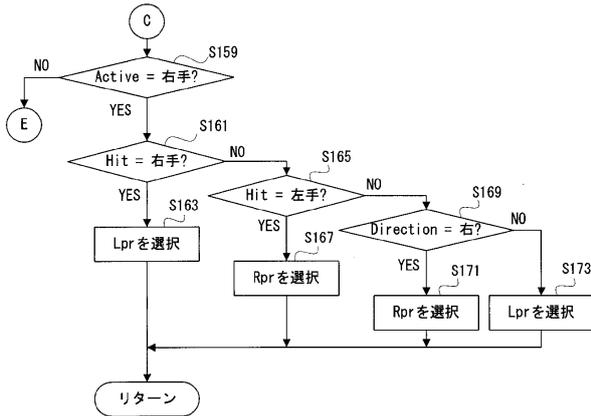
【図 9】



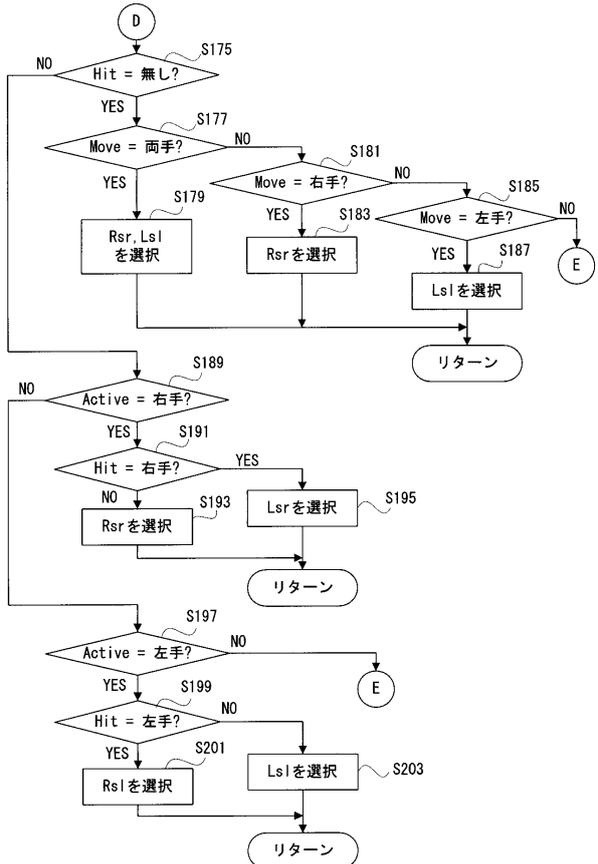
【図 10】



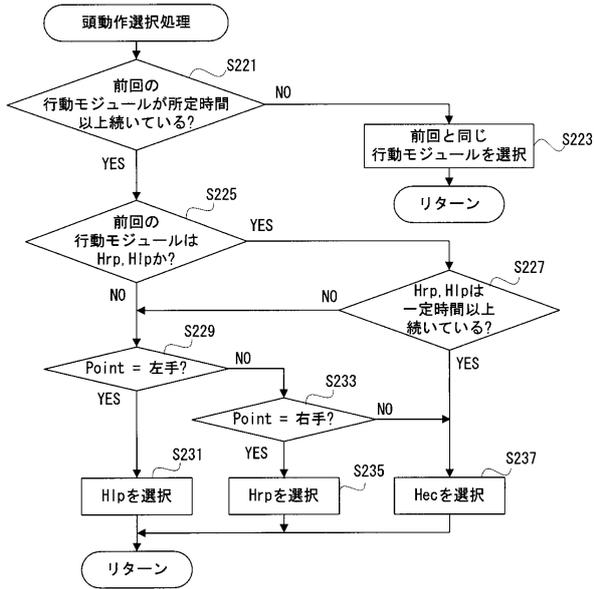
【図 11】



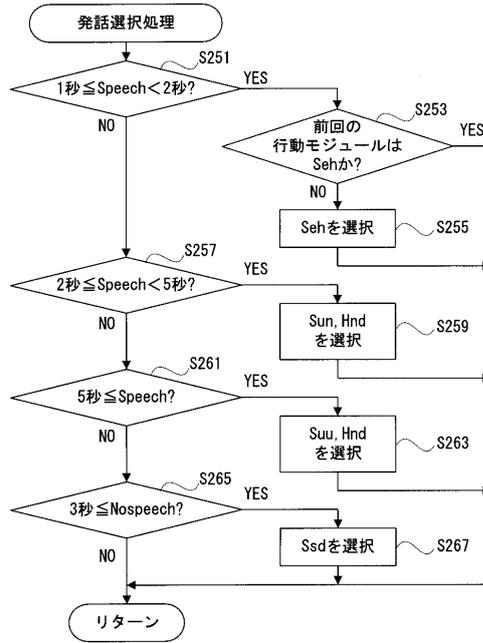
【図 12】



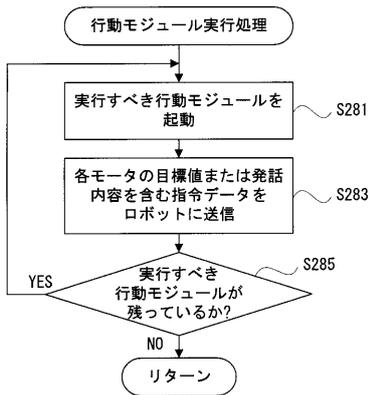
【図13】



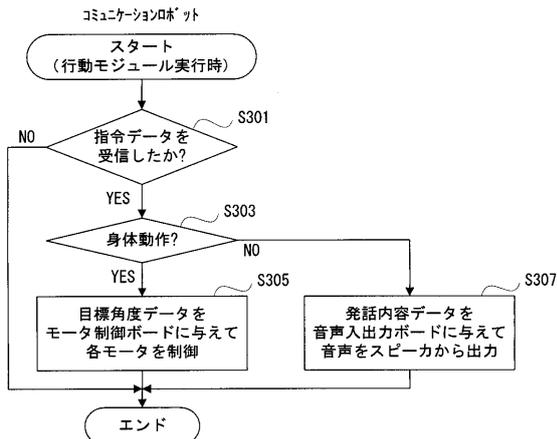
【図14】



【図15】



【図16】



---

フロントページの続き

特許権者において、実施許諾の用意がある。

(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

審査官 土田 嘉一

(56)参考文献 特開2002-189497(JP, A)

坂本大介(外5名), 協調的身体動作に基づく人・ロボット対話の実現, インタラクション2004論文集, 日本, 財団法人情報処理学会, 2004年 3月, p.3-10

畠山誠(外1名), 同調動作に基づくロボットと人間のコミュニケーション, 第17回人工知能学会全国大会論文集, 日本, 社団法人人工知能学会, 2003年, p.1-3

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B25J 1/00 - 21/02