

機関番号：12612
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2008年度～2010年度
 課題番号：20500178
 研究課題名（和文） 察するインタフェースに関する研究

研究課題名（英文） Studies on “Sassuru” interface

研究代表者

金子 正秀 (KANEKO MASAHIDE)
 電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授
 研究者番号：90262039

研究成果の概要（和文）：

人間共存型ロボットにおける「察するインタフェース」の実現に向けて、対人行動や対面動作における「察する」振舞、社会性を持った振舞について以下の成果を得た。まず、ユーザとロボット相互の動きを把握しながら、ロボットがユーザの期待（意図）に合せた対人行動を行う場合として、狭い通路でのすれ違い、障害物がある様な通路での並走と縦走の自律的切替えを可能とした。音情報に基づく出会い頭での衝突防止方法を開発した。また、実演販売や演説などの聴衆の立ち位置を調整するロボット、室内の任意の位置に着席した複数人からの挙手動作認識手法の開発を行った。

研究成果の概要（英文）：

“Sassuru” interface for human symbiotic robot has been studied from the viewpoints of “sassuru” behavior and social behavior in relation to surrounding persons. Firstly, the passing by in the narrow corridor and the spontaneous switching between “parallel” and “cascade” positions when a robot and an accompanying person pass by oncoming persons have been realized. Next, the method to autonomously avoid unexpected collisions by recognizing people in occluded area using sound information has been developed. Furthermore, a method to grasp positions of multiple audience and to coordinate their positions so that more number of audience can keep better standing positions to see a presenter has been studied. A recognition method of hand raising actions for users sitting at arbitrary positions in the room, where multiple tables are arranged, has been developed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・“知覚情報処理・知能ロボティクス”

キーワード：画像認識、人工知能、知覚情報処理、知能ロボティクス、ユーザインターフェース、音源位置推定

1. 研究開始当初の背景

日常生活の中で我々の手助けや話し相手となる人間共存型ロボットは、今後の少子高齢化社会の中で、より快適な生活環境を維持するために重要な役割を果たすと考えられる。人間共存型ロボットの実現のためには、構造・動作機構といった機械的要素、外界からのマルチモーダルによる情報取得、取得情報に基づく行動決定など様々な要素からなる総合的な技術が必要である。この様な中で、本研究代表者はこれまでに、人間にとってより自然で負荷が少なく、かつ、新たな機能を提供するインタラクション技術の開発を目的として「視聴覚情報の統合に基づくアクティブインタラクション技術」について研究を行ってきた。具体的には、(1) 視聴覚情報の統合的利用による、ユーザを含めた環境内の情報の的確な取得、(2) 人間同士のコミュニケーションに見られる曖昧さを含んだ時空間指示、注意の共有、マルチモーダル情報の利用、優先度の算出に基づく複数ユーザの中からのコミュニケーション相手の選択、といった形態を反映した新たなインタラクションの枠組みの構築、の2つの観点から研究開発を行った。マルチモーダル情報の統合手法が新たな試みであったが、ユーザとロボットとのインタラクションとしては、他機関における関連研究と同様に、明示的な情報を対象としたものであった。

一方、人間同士の係わり合いを考えた場合、常に相手に明示的に情報を与えた上で行動を行っている訳ではない。阿吽の呼吸とまでは行かなくても、相手の動作の微妙な変化や周囲の状況から相手と自身との関係を把握し、相手との一連の動作（例えば、協調動作、向かってくる相手をよける、並んで歩いている状態から縦に連なった状態に切り替える時の順序の選択、など）をほとんど意識せずに行っていることも多い。すなわち、周囲の環境、相手の非明示的な動作、相手と自分との関係（目上・目下など）などから現在の状況の意味を「察し」、その状況に合わせた行動を行う訳である。

本研究課題では、この様な非明示的な情報から状況判断を行い、その状況に即した行動を時々刻々行っていくために必要な「察するインタフェース」技術の実現に関わる研究開発を行う。

2. 研究の目的

本研究課題では、人間共存型ロボットにお

ける「察するインタフェース」の実現に向けた、以下の研究開発を目的とする。

(1) 対人行動における「察する」振舞：ユーザとロボット相互の動きを把握しながら、ロボットがユーザの期待（意図）に合せた対人行動を行う。具体例として、狭い通路でのすれ違い、障害物がある様な通路での並走と縦走の切替えの問題を扱う。

(2) 対面動作における「察する」振舞：ユーザと対面してロボットが動作をした時に、ユーザの表情や仕草、ロボットの動作結果に対するユーザのやり直しの観測を通じて、ユーザが望んでいた（予期していた）動作を行ったのかどうかをロボット側が判断する。この結果を踏まえて、ユーザの期待に沿う方向に次の動作を行う。

3. 研究の方法

(1) ユーザや周囲環境に関するマルチモーダル情報の安定した獲得手法

① ロボットの周囲の音源（話者）位置の高精度推定：マルチチャンネルのマイクロホンアレイによる音源位置推定と、肌色領域の推定の組合せにより、全周方向での高精度の音源位置推定を行う。単一音源だけでなく、複数音源にも対応できるようにする。また、割込み音の検出、音源種別の識別について検討する。

② 顔動画像からの顔姿勢の推定：顔の3次元モデルと動画像上でのオプティカルフローを用いて顔の3次元姿勢の推定を行う。

③ 移動ロボットからの移動ユーザの検出、追跡、動作観測：移動ロボットに搭載したステレオカメラからの映像を用いて、ロボットの周囲にいる歩行ユーザの検出、追跡を安定して行う方法を開発する。

④ ユーザの表情、仕草の観測：快／不快、同意／不同意など、相手（の行為）に対する評価結果を示す様な顔仕草に対する認識手法を検討する。

(2) 察するインタフェースの具体的アプリケーションの検討

① 対人行動における「察する」振舞

ユーザの意図を察しながらロボットが対人行動を行う例として、(a) 通路でユーザとロボットがすれ違うケース、(b) ユーザとロ

ロボットが狭い通路を並んで移動する場合に、ユーザの歩行状況に合わせてロボットが移動速度を調整する、更に、前方に障害物がある場合に、ユーザとロボットのどちらかが先に進む（並走から縦走へ切替える）ケース、を取り上げる。いずれも、周囲の環境とユーザ、ロボット自身の状況を把握した上で、ユーザがどう動こうとしているか、或いは、ユーザがロボットがどう動くことを期待しているか、を察しながらロボット自身の動きを決めていく。1名のユーザだけではなく、複数のユーザが別々に歩行しているような、より複雑な状況にも対応できるようにする。

静止領域・動領域の確率的なマッピングによってロボットが周囲環境の動的な変化を柔軟に認識できるようにする手法、ユーザの歩行の方向と速度を考慮したポテンシャルの設定によりユーザとの衝突回避を効率良く行う手法等、ロボットの自律的振舞を可能とする関連技術の性能向上にも努める。

② 対面動作における「察する」振舞

ユーザの挙手動作、顔向き、視線方向、発話の有無等の情報をキーとして、複数ユーザの中のどのユーザがロボットとのインタラクションを行いたいと思っているのかをロボットが自律的に判断し、該当のユーザにロボット側から働きかけを行う。ロボットからの働きかけに対するユーザの反応を観察し、ユーザのロボットに対する期待を察し、その結果に応じてユーザへの働きかけ内容を変化させていく。

③ 社会性を持った振舞

複数の人間との係り合いの中で、ロボットに社会性を持った振舞を自律的に行わせる方法について研究する。具体的には、対面販売や演説等における聴衆の立ち位置について、なるべく多くの聴衆が説明者を見やすい位置となるように調整する機能、複数のユーザが任意の位置・向きで着席した状況で挙手動作をしているユーザを識別しインタラクションの切っ掛けとする機能の実現を図る。

4. 研究成果

(1) ユーザや周囲環境に関するマルチモーダル情報の処理手法に関して、下記の研究を行った。

① マイクロホンアレーにより取得した多チャンネルの音情報から遅延時間マップを用いて3次元音源位置を推定する手法を考案した。音源の尤度を時間方向で加算処理することで、複数の音源に対応できるようにした。また、

割り込み音について、周波数情報と音圧情報、及び画像情報との統合を行い音源種別の識別を可能にした。

図1に、加算処理前の尤度マップと加算処理後の尤度マップを示す。加算処理により雑音の影響を抑えられていることが分かる。

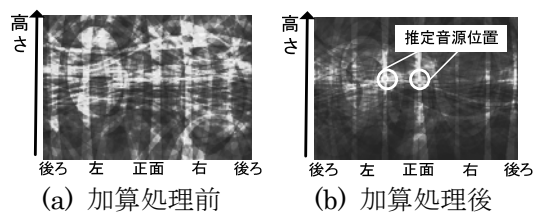


図1 加算処理による尤度マップの改善

② ロボットと複数の人間とのコミュニケーションを円滑に行えるようにするため、複数人が重なり合っている環境においても、挙手認識を行い、更に挙手した人物の顔位置を探し、どのユーザが挙手しているかを認識できる手法を開発した。実空間内の点に対するX-Zプロット画像を作成し、また、腕により連結している手と顔のペアを探していく手法により、手前の人物に隠されて顔や腕領域が見えない場合にも、見えている手と腕の領域から顔位置を推定できるようにした。

③ HSV色空間に対するセグメンテーション結果と距離情報を統合することで周囲環境のモデルを動的に生成し、歩行者の検出並びに追跡を行う手法を考案した。この結果に基づき、室内環境下で、ロボットが歩行者との衝突を回避して自律移動することができるようにした。

④ ロボットの自律移動を実現するための基礎技術として、動的環境下において、観測領域が動的か静的かの度合を確率的にマッピングすることにより、動物体に影響されることなく室内形状を把握し、ロボットの自己位置推定をロボスタに行う方法を考案した。

(2) 対人行動における「察する」振舞

人間共存型ロボットが廊下や室内などの日常環境下で行動する場合、廊下や部屋の構造や障害物に対して認識すると共に、歩行人物や同行者がどういう動きをしているか、更にどう動こうとしているかを察し、自律的に振舞わせる（人間と同じように自然に振舞う）ことが重要である。

① 移動ロボットにおける対向歩行者との自律的すれ違いに関して、ロボットが画像情報から対向者を顔、胴体、足の3つの部位に分けて認識することで、対向者の回避行動その

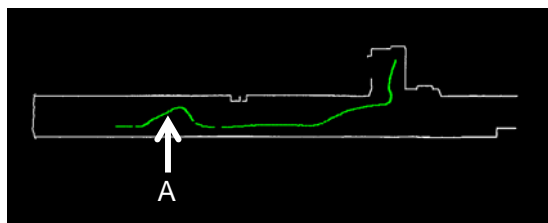
ものを検出し、早期に対向者の移動方向を予測して適切な対処行動を取れる様にした。図2に対向歩行者との自律的すれ違い実験の様子を示す。



図2 対向歩行者との自律的すれ違い
(左から右、上から下の順)

② 曲がり角もある廊下において、複数歩行者及び障害物との衝突を回避しながら、ロボットが目的地まで自律的に移動する方法を考案した。カルマンフィルタを用いた歩行者位置の推定手法、歩行者の位置と歩行速度を考慮したポテンシャルフィールド法、目的地が視野外にある場合のサブゴール設定法等の導入により、ロボットの自然な自律移動を実現した。

図3に曲がり角のある廊下におけるロボットの自律移動実験結果の例を示す。(a)は廊下のグローバルマップ及びロボットの移動軌跡(緑色の線)である。A点における実験風景を(b)に、ローカルマップ(ロボットと周囲の歩行者の位置・移動方向と速度を表示)を(c)に示す。



(a) 廊下におけるロボットの移動軌跡



(b) 位置Aでの様子

(c) ローカルマップ

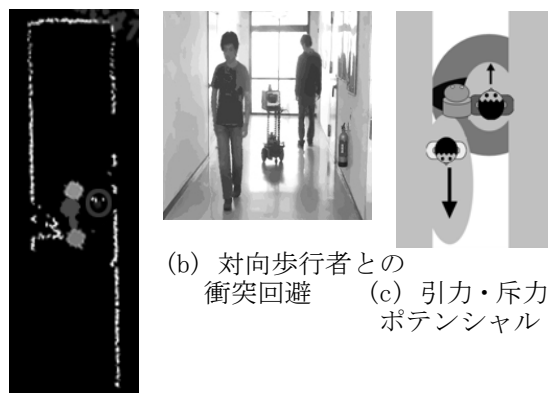
図3 廊下における自律移動実験

③ 廊下や室内などの日常環境下において、ロボットが周囲環境(障害物や複数の歩行者)の状況に合わせて、同行者との位置関係を自律的に変化させながら移動する方法について検討を行った。

まず、複数の歩行人物及び障害物が存在する廊下において、ロボットがユーザーと連れ立って並走・縦走を自律的に切り替えながら移動する方法を検討した。ステレオカメラによりロボット前方の距離情報を取得し、廊下の壁、対向人物、障害物、ロボット各々の位置を $X-Z$ 平面画像上で認識する。また、ロボットと同行ユーザーとの位置関係を全方位カメラ画像から取得する。廊下を幅方向に複数のレーンに分割し、ロボット、対向人物、同行者の各々が位置するレーンを把握し、ロボットが同一レーン内で対向人物や障害物と衝突することがないように、同行者との並走・縦走を自律的に切り替えられるようにした。

次に、幅が限られている廊下に加えて、より一般的に、室内も含めた日常環境下において、ロボットが周囲環境(障害物や複数の歩行者)の状況に合わせて、同行者と並走する、同行者の後方を追従する、同行者の前に位置するなど同行者との相対的位置関係を臨機応変に変化させながら安全に移動する手法を考案した。レーザレンジファインダにより取得した距離情報に基づいて作成した $X-Z$ 平面画像を用いて、同行者の向きや同行者との位置関係、周辺人物の存在や速度を認識する。人工ポテンシャル法を使用して、引力と斥力の計算結果から移動方向の決定を動的に行えるようにした。

図4に対向歩行者がいる場合の、並走・縦走の自律的切替え実験の例を示す。(a)はローカルマップ、(b)は対向歩行者との衝突回避の様子、(c)は引力・斥力ポテンシャルの分布を示す。



(b) 対向歩行者との衝突回避 (c) 引力・斥力ポテンシャル

(a) ローカルマップ
($X-Z$ 平面画像)

図4 並走・縦走の自律的切替え

④ 廊下の曲り角や部屋の出入口における出会い頭での衝突を防ぐために、マイクロホンアレーで受信した音のマイクロホン間音圧差の変化から、視覚では捉えられない物陰の状況をロボットに予測させる手法を考案した。マイクロホンは上下方向に離して2個配置し、歩行に伴う足音を計測する。音源尤度マップや視覚情報と組み合わせることで、状況に応じた適切な動作を選択できるようにした。

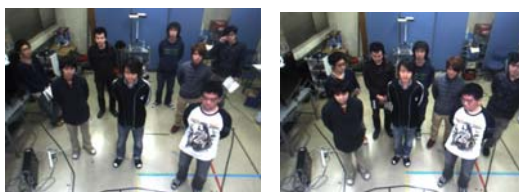
(3) 対面動作における「察する」振舞

コンピュータ/ロボットとユーザとのインタラクションにおいて、ユーザの首振り動作、視線の動き、反応のタイミングを観測し、これらの情報からユーザの内部状態・意思を推定し、推定結果に応じた反応を返すようにした。ユーザが明示的に指示をしなくても、システム側がユーザの状況に合わせて(希望・意思を察して)反応するような新たなインタフェース形態である。

(4) 社会性を持った振舞

① 実演販売や演説などにおける複数人の聞き手の立ち位置を、頭上カメラによって撮影した画像を用いて把握し、より多くの聞き手が見易い位置関係となるようにロボットに自律的に聞き手の立ち位置を調整させる方法を考案した。ロボットは聞き手のパーソナルスペースに留意してより良い陣形のシミュレーションを行い、発話と音声認識によるインタラクションを通じて相手の反応に応じた立ち位置の誘導を行う。

図5に、ロボットによる誘導前後での立ち位置変化の様子を示す。



(a) 初期位置 (b) 誘導後

図5 誘導前後の立ち位置変化

② 複数のテーブルが配置された室内の任意の席に着席した複数人のユーザを対象にした挙手動作認識手法を考案した。個々のユーザの特定のために入室する人物をカメラで撮影し、服の色情報を取得する。ステレオカメラ及びレーザレンジファインダから得られる色情報と距離情報を用いて、入室してきた人物との対応付け、及び、胴体、頭部、腕の位置関係の検出に基づく挙手動作認識を

行えるようにした。

③ ロボットが人間と同じ生活空間内を移動する際の障害物への対応について、回避だけではなく、周囲環境への配慮を行いつつ働きかけを行う方法について基礎的検討を行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

① Jun-ichi Imai and Masahide Kaneko: “Human interactions with a robot that recognizes differences between fields of view,” *Kansei Engineering International Journal*, Vol.10, No.1, pp.59-68, 2010.12. (査読有)

[学会発表] (計29件)

① 高橋和也、金子正秀: “日常環境において同行者の動きに応じて安全に移動可能な自律移動ロボット,” 情報処理学会第73回全国大会, 1T-6, pp.2-433~2-434, 東京, 東工大, 2011.3.2.

② 渡部翔、金子正秀: “自律移動ロボットにおける視野外の状況も考慮した衝突回避—音情報による物陰の人物の認識—,” 映像情報メディア学会技術報告, メディア工学 ME2011-15, 横浜, 関東学院大学, 2011.2.19.

③ 肖凌、金子正秀: “複数人物が任意の向きで着席した室内における挙手動作認識,” 映像情報メディア学会技術報告, メディア工学 ME2011-27, 横浜, 関東学院大学, 2011.2.19.

④ 板谷友彰、金子正秀: “聞き手の立ち位置関係を調節するロボット,” 映像情報メディア学会技術報告, メディア工学 ME2011-28, 横浜, 関東学院大学, 2011.2.19.

⑤ 高橋和也、金子正秀: “同行者との相対的位置関係を考慮した日常環境下でのロボットの自律的移動,” 2010年映像情報メディア学会冬季大会, 4-3, 東京, 工学院大学, 2010.12.14.

⑥ Jun-ichi Imai, and Masahide Kaneko: “Development of robot which recognizes user’s false beliefs using view estimation,” *Proceedings of the World Automation Congress (WAC 2010), ISORA (International Symposium on Robotics and Applications) Track*, 178, Kobe International Conference Center, JAPAN, 2010.9.20.

⑦ 伊藤明久、今井順一、金子正秀: “動領域・

- 静止領域の確率的マッピングによる動物体追跡,” 2010年電子情報通信学会総合大会, D-12-94, p.205, 仙台, 東北大学, 2010.3.18.
- ⑧ 般若雄治、今井順一、金子正秀：“ユーザの状態を察する機能を備えた対話型インタフェース,” 平成21年度電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会（第15回）, D-12, (講演番号:158), 東京, 東京電機大学, 2010.3.13.
- ⑨ 伊藤明久、今井順一、金子正秀：“動的環境における動領域・静止領域の認識に基づく自律移動ロボットの自己位置推定,” 情報処理学会創立50周年記念（第72回）全国大会, 6C-1, pp.2-1~2-2, 東京, 東京大学, 2010.3.11.
- ⑩ Jun-ichi Imai and Masahide Kaneko：“Kansei evaluation of behaviors of robot which recognizes difference between user’s and its own fields of view,” KEER2010 (International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research 2010), pp.683-692, Paris, France, 2010.3.2. (Presentation Award を受賞)
- ⑪ 鈴木正也、今井順一、金子正秀：“周囲歩行者の状態推定により動的環境に柔軟に対処可能な自律移動ロボット,” 映像情報メディア学会技術報告, メディア工学 ME2010-49, 横浜, 関東学院大学, 2010.2.27.
- ⑫ 伊藤明久、今井順一、金子正秀：“動領域・静止領域の確率的マッピングによる周囲環境の変化の検出,” 2009年映像情報メディア学会冬季大会, 2-6, 東京, 芝浦工業大学, 2009.12.16.
- ⑬ Jun-ichi Imai, Wei-ming Li, and Masahide Kaneko：“Online object modeling method for occlusion-robust tracking,” IEEE RO-MAN 2009 (18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication), TuIAH.11, pp.955-960, Toyama, Japan, 2009.9.29.
- ⑭ 早川隆、今井順一、金子正秀：“周囲環境への働きかけ機能を有した移動ロボット,” 平成20年度電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会, 講演番号 32, 東京, 2009.3.7.
- ⑮ 于澎、今井順一、金子正秀：“オクルージョンを含む多様な人物配置に応じた挙手動作認識,” 平成20年度電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会, 講演番号 141, 東京, 2009.3.7.
- ⑯ 伊藤明久、今井順一、金子正秀：“自律移動ロボットによる動的環境の認識,” 映像情報メディア学会技術報告, メディア工学研究会 ME2009-57, 横浜, 関東学院大学, 2009.2.28.
- ⑰ 石井三知夫、今井順一、金子正秀：“マイクロホンアレーを用いた複数音源位置推定及び種別判定,” 映像情報メディア学会技術報告, メディア工学研究会 ME2009-60, 横浜, 関東学院大学, 2009.2.28.
- ⑱ Juanda Lokman, Jun-ichi Imai, and Masahide Kaneko：“Understanding human action in daily life scene based on action decomposition using dictionary terms and Bayesian network,” ISUC2008(Second International Symposium on Universal Communication), No.2 in Session 3: Service and System for Home and Indoor Environments, pp.67-74, Osaka, 2008.12.15.
- ⑲ Jun-ichi Imai and Masahide Kaneko：“Human-robot interaction with view estimation in occlusion environments,” SCIS&ISIS2008 (Joint 4th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 9th International Symposium on Advanced Intelligent Systems), pp. 1281-1286, SA-D2-3, Nagoya, Japan, 2008.9.20.
- ⑳ 伊藤明久、今井順一、金子正秀：“対向者の歩行動作の観測と予測に基づくロボットの自律的すれ違い,” 第7回情報科学技術フォーラム (FIT2008), J-049, 藤沢, 慶應義塾大学, 2008.9.4.

[その他]
ホームページ
<http://soybean.ee.uec.ac.jp/kaneko/>

6. 研究組織
研究代表者
金子 正秀 (KANeko MASAHIDE)
電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授
研究者番号：90262039