

平成 22 年 6 月 14 日現在

研究種目：若手研究 (B)
研究期間：2008～2009
課題番号：20700191
研究課題名 (和文)
人間と相互作用するロボットのための、集団状態認識および集団状態制御手法の確立
研究課題名 (英文)
Development of Group State Estimation and Group State Control for a Social Robot
研究代表者
塩見 昌裕 (SHIOMI MASAHIRO)
株式会社国際電気通信基礎技術研究所・知能ロボティクス研究所・研究員
研究者番号：90455577

研究成果の概要 (和文)：

日常環境下では、ロボットは集団との相互作用を考慮しなければならない。ロボットが集団と円滑に相互作用を行うためには、1. ロボットが集団の状態を認識すること、2. ロボットが集団の状態を制御すること、の2点を実現する必要がある。申請者は、ロボットが集団の状態を認識するために必要となる手法の確立と、ロボットが集団状態に基づいて自身の振る舞いを変化させて集団状態を制御するための手法の確立を行った。

研究成果の概要 (英文)：

This research developed a robot system which interacts with group of people simultaneously. To realize the system, I proposed two methods: to estimate group states and to control group states.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 20年度	2,100,000	630,000	2,730,000
平成 21 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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：知能ロボット，ヒューマンロボットインタラクション

1. 研究開始当初の背景

現在、日本が世界の中で生き残るために注力している技術の1つとして、ロボットが挙げられる。特に、産業・工業における労働力としてのロボットは既に実用化されており、その評価は高い。また近年では、家庭や公共施設などの日常環境下で、人の心や生活を支援するためのロボットの研究開発が進んでおり、これまでにコミュニケーションロボットを用いて小学校や博物館、駅構内で活動支援を行う実証実験が複数行われている。

これらの、過去に開発されてきたコミュニケーションロボットのほとんどは、1人もしくは少数人との相互作用のみを対象とされていた。しかし、日常環境下では集団との相互作用を考慮しなければならない。たとえば、過去に行われた実証実験では、集団がロボットを取り囲む行動をしたために、相互作用や情報提供が円滑に実現できないという場面が報告されている。このような状況は、たとえば集団がロボットに殺到しているなどの状態をロボットが認識できず、適切な行動をとることが出来なかったために発生する(図1)。しかし、ロボットが集団の状態を認識することで、集団内の人々の移動や興味を誘導させるような振る舞いが可能となり、その結果たとえば人々がロボットの周囲に並ぶような行動を誘発させて、ロボットの周囲に集団が整然と集まる状態を作り出すことが出来る(図2)。つまり、ロボットが集団と円滑に相互作用を行うためには、①ロボットが集団の状態を認識すること、②ロボットが集団の状態を制御すること、の2点を実現する必要があると考える。



図1 雑然とした状態



図2 整然とした状態

集団認識機能を実現することで、ロボットは現在相互作用を行っている集団の状態が、自身のタスクに適したものであるかどうかを認識できる。ロボットが集団状態を制御することで、自身のタスクに適した集団状態を作り出すことが可能となり、結果としてロボットは集団との円滑な相互作用を実現できる。たとえば、集団内の人々に対して同時に情報提供を行う場合には、図2に示すように人々が聴衆となってロボット周辺に整列している状態が望ましく、またロボットが集団内の人々と個別に対話を行う場合には、待ち行列のように人々が並んでいる状態が望ましい。さらに、複数の人々を集団として扱いたい場合や、集団を解散させたい場合には、ロボットによる集団の形成や解散を誘発する振る舞いが必要となる。

このような集団状態の制御の実現には、集団力学に関する知見が有用であると考えられる。たとえば、集団内の人々の目的が共通になることで、同調的な行動が起きやすいという知見がある。この知見を利用することで、ロボットが集団に対して「皆と一緒にロボットについてお勉強しようよ」「今から移動するから、皆ついてきてね」などと、人々の目的を統制するように振舞うことで、集団内の人々の目的を共通にし、同調的な行動を誘発できると考える。このような、集団特有の行動や集団の形成・解散に関する集団力学の知見を応用して、ロボットが特定の人と長時間相互作用して他の人々の注意を引き、集団形成の誘発を行うことや、同調的な行動を誘発する振る舞いなどを通じて、集団状態をロボットのタスクに適した状態へ制御することで、ロボットは集団とより円滑な相互作用を実現できると考える。

2. 研究の目的

本研究では、日常環境下で集団と円滑に相互作用可能なコミュニケーションロボットを

実現するために、以下の2つの課題に取り組む。

2.1 ロボットと相互作用する集団の状態認識手法の確立

集団状態認識手法を確立するため、研究期間内に集団状態を認識するために必要な集団特有の特徴量を明らかにする。具体的には、集団内の人々の人間関係、対人距離に加えて、位置関係の時系列変化および群衆密度などの特徴量に注目し、集団状態認識に有用な集団特有の特徴量を明らかにする。群衆密度や対人距離の時系列変化などの特徴量を考慮することで、過去の研究から得られた集団状態を認識する予備的なアルゴリズムの改良を行い、集団状態認識手法の確立を行う。手法を確立した後には、実験を通じて集団状態認識率の計測を行い、その有効性を検証する。

2.2 ロボットと相互作用する集団の状態制御手法の確立

集団状態制御手法を確立するため、研究期間内に集団状態の制御モデルを構築する。具体的には、まず集団状態を制御するためのロボットの振る舞いを、集団力学に関する知見に基づいて設計する。次に、設計した振る舞いによって集団内の人々の対人距離や群衆密度がどのように変化するか、集団の状態がどのように制御されるのかを計測し、その相関関係を明らかにする。手法を確立した後には、被験者実験を通じて、集団状態制御の成功率、集団状態制御行動に伴う被験者の心理的評価・集団内の人々の対人距離や群衆密度の計測を行い、その有用性を検証する。

3. 研究の方法

本研究では、集団状態を推定するために、図1, 2に示されるような、集団を構成するより小さな集団(クラスタ)に注目した。これまでにも、集団や群衆のクラスタ分析を行う研究は数多く行われており、複数の人々の社会的な交流に関する環境デザインや人間関係に基づく対人距離の解析、環境と組み合わせに関する心理学的な解析などが行われている。本研究では、ロボットと対話している集団の位置情報をクラスタ分析の対象とし、各クラスタの大きさや形状、位置関係から集団の状態推定を行う。たとえば、ロボットが情報提供を行う際の整然とした状態は、図2に示されるように、ロボットの前方にクラスタが集中し、各クラスタとロボットの距離関係は似通ったものになると予想できる。一方で、雑然とした状態においては、図1に示すように、ロボットから離れた位置に複数のクラスタが存在することや、クラスタの形状がロボットに対して縦列に変化することが予想できる。よって我々は、ロボットと各クラ

スタの位置関係を利用することで、集団状態を推定できると考えた。

しかし、ロボットと各クラスタの位置関係を計算するためには、適切なクラスタ数を何らかの方法で決定しなければならない。人々の数やロボットとの位置関係によって最適なクラスタ数は変化するため、状況に応じたクラスタの分割が必要となる。そこで本研究では、最適なクラスタ数を決定するために、クラスタを構成する人々同士の距離、対人距離に注目した。過去の研究から、人同士の対人距離は、その人々の持つ人間関係や、目的によって変化することが報告されている。たとえば、家族や友人関係を持つ人々や、「ロボットと対話しよう」という共通の目的を持つ人々同士の距離は小さくなり、その人々はクラスタを構成する。一方で、特にロボットへの興味を持っていない人々や、共通の目的を持たない他人同士の距離は大きくなり、クラスタを構成しない。そこで我々は、何らかの関係を持つと予想される人々同士を1つのクラスタとして扱うことで、状況に応じた最適なクラスタ数が決定できると考えた。つまり本研究では、人々の対人距離に基づいて、集団を構成するクラスタを計算し、ロボットと各クラスタの位置関係に基づいて集団状態の推定を行う。

本研究では、集団の状態がロボットのタスクにとって望ましい状態であるかどうかを推定することを、目的とする。しかし、ロボットのタスクが変化することで、集団とロボットの望ましい位置関係は変化する。たとえば、ロボットのタスクが集団に対する情報提供であった場合には、人々がロボットに対して扇状や、横列に並んでいる状態が望ましいが、ロボットのタスクが集団を連れて施設内を案内する場合には、人々がロボットの後方に縦列に並んでいる状態が望ましい。過去の研究においても、集団の形状はタスクに応じて変化することが報告されている。たとえば、駅の改札口付近では縦列に、互いに会話をしている状況では円状に集団の形状が変化する。つまり、ロボットのタスクに応じて、異なる望ましい集団の形状やクラスタの位置関係が存在すると思われる。そこで本研究では、ロボットが情報提供タスクを同時に5人以上の人々に対して行う状況を対象として、集団の状態がタスクに適した状態であるか、適していない状態であるかの2状態を推定する手法を提案する。人々の数を5人以上とした理由は、ある程度の人々がロボットの周囲に存在していない状況では、集団形状の変化が小さく、集団状態の推定が困難になると考えたためである。ここで、情報提供タスクを対象とした理由は、このタスクが日常環境下で人々との相互作用を行うロボットにとって非常に基本的なタスクであり、かつ集団状態

推定がより有効なためである。実際に、これまでに行われた日常環境下でのロボットを用いた実証実験において、多くのロボットに基本機能として情報提供タスクが実装された。実証実験においてロボットは、自身の目新しさを積極的に活用することで、多くの人々の興味を惹きつけ、情報提供を行った。その中で、図2に示されるような、ロボットと集団が相互作用を行う場面は、頻繁に観察されている。このような状況下において、ロボットが集団状態を推定することができれば、より効率よく情報提供を行うことができると考える。

本論文では、ロボットの情報提供タスクに適した状態を「整然とした」状態、タスクに適していない状態を「雑然とした」状態と記述する。以下に、本研究における各状態の定義を記述する。

整然とした状態: ロボットの周囲4 m以内に存在している5人以上の人々が、ロボットの方向を注視しており、かつ人々がロボットの正面方向に集まっている、全ての人々が情報提供を受けらうえで適していると思われる場面(図2)

雑然とした状態: ロボットの周囲4 m以内に存在している5人以上の人々が、ロボットの方向を注視しており、かつ人々がロボットの正面方向に集まっていない、全ての人々が情報提供を受けらうえで適していないと思われる場面(図1)

本研究では、この2状態の分類を2人の評定者によって行った。ここで、評定者間で意見の相違があった状態については扱わない。つまり本研究では、2人の評定者らが互いに「整然とした」・「雑然とした」と判断した明確な場面を、精度よく推定することを目的とした。

図3に、集団状態を推定するために構築したシステムを示す。システムの流れを、下記に示す。

- (1) ロボットは環境に設置されたセンサから、人々の位置情報を取得する。
- (2) 人々の位置情報からクラスタを計算するために、対人距離の知見に基づいてクラスタリングを行う。
- (3) 分割されたクラスタとロボットの位置関係をもとに、集団の状態を推定するための特徴量を抽出する。
- (4) サポートベクターマシン(SVM) [22]を用いて、推定された特徴量から集団状態の推定を行う。

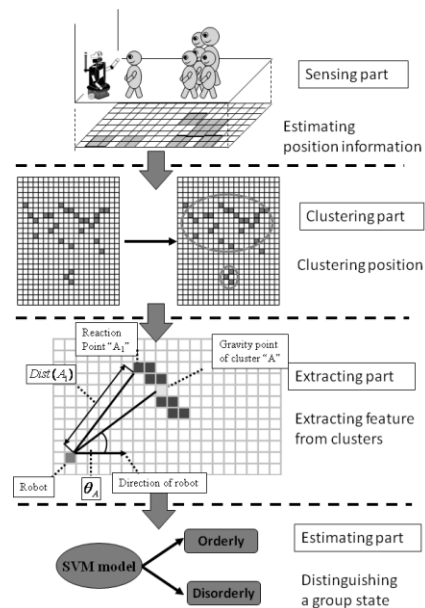


図3 集団状態推定システム

ロボットは、このシステムを通じて集団状態の推定を行い、その推定された状態に応じて情報提供を行うように設計された。次章では、集団状態推定システムによって推定された各状態の推定精度について記述する。

4. 研究成果

本章では、提案手法の有効性を検証するための、性能検証実験の詳細について記述する。本研究では、提案手法の有効性を検証するために、日常環境下で実際にロボットが複数の人々と相互作用を行う際のデータを取得した。取得したデータは、二人の評定者によって整然とした状態と雑然とした状態の2状態に分類され、学習用データおよびテスト用データとして利用された。本章では、これらの詳細について記述する。

我々は、提案手法の有効性を検証するためのデータを取得するために、駅構内に実験環境を構築し、2週間の実証実験を行った。具体的には、近鉄奈良登美ヶ丘駅構内に、人との相互作用機能を持つコミュニケーションロボット「Robovie」、人々の位置を取得するための床センサ、実験風景を記録するためのカメラを設置し、ロボットが人々と相互作用する実験を行った。

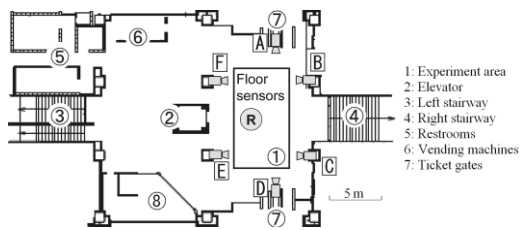


図4 実験環境

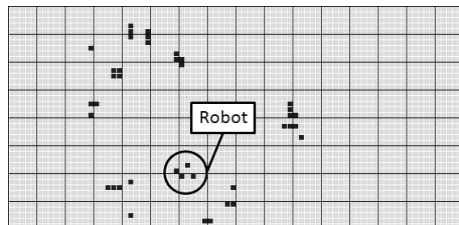


図5 雑然とした状態の床センサデータ

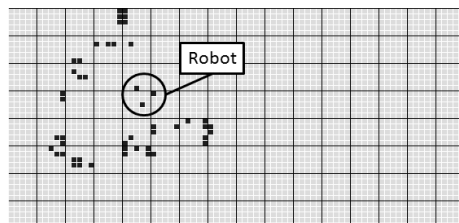


図6 整然とした状態の床センサデータ

図4に、実験環境と、ロボットおよびセンサの配置図を示す。配置したロボットには、駅周辺施設への道案内や、駅周辺施設に関する情報提供を行うタスクを与えた。床センサは、 4×8 [m] の領域内に128枚設置された。人々が床センサ上に存在した場合、ロボットは自律的にその人々に近づき、情報提供を行った。ロボットと人々が相互作用する様子は、天井に設置されたカメラによって記録された。

実験では1000人以上の人々がロボットとの対話を行い、その中から5人以上の人々が5秒以上ロボットの付近で立ち止り、ロボットを注視していた場面を152個取得した。各場面の記録映像を2人の評定者に提示し、各場面を整然とした状態・雑然とした状態に分類した。その結果、各場面は72個の雑然とした状態と、36個の整然とした状態に分類された(1週目のデータからは36個の雑然とした場面と18個の整然とした場面が、2週目のデータからも36個の雑然とした場面と18個の整然とした場面が分類された)。

ここで、評定者間の判断の妥当性を検証するため、我々は評定者間の主観的な評価の一致度合いを検証した。評価の一致度合いが低い場合には、集団状態の分類に用いた定義が不適切であり、判別対象として扱うことが妥当ではない、と考えるためである。判断の一致度合いを検証するために、本研究では κ 統

計量を計算した。 κ 統計量は、複数の評定者がラベル付けを行った際の、評価の正確さや妥当さを示す値である。 κ 統計量は、 $\kappa > 0.6$ であればかなりの一致度合いを、 $\kappa > 0.4$ であれば中程度の一致度合いを示している。本研究では、 $\kappa = 0.49$ であったことから、2人の評定者による主観的な評価を集団状態推定に利用することは、妥当であると考えた。

集団状態推定を行うために必要となる判別機を作成するために、本研究では分類された各状態の半分を学習データ作成に用いた。つまり、実験の1週目で取得された、36個の雑然とした状態と18個の整然とした状態から、学習データの作成を行った。

具体的には、雑然とした状態の場面からは2秒分の床センサ出力を、整然とした状態の場面からは4秒分の床センサ出力を学習データ作成に利用した。さらに、データの総数を増やすために、実際に取得した床センサ出力からダミーデータを生成した。

ダミーデータの生成には、床センサの出力値をX方向に反転させたものを用いた。床センサのセンシング周期は200[ms]であるため、整然とした状態・雑然とした状態のそれぞれにおいて720データが学習用に作成された。

提案手法の有効性を検証するために、2種類の評価基準を用いた。1つは、判別機の性能評価に一般的に用いられる、K-fold cross validation法である。本研究では、実験の1週目で取得されたデータセットを10個に分割し、10-fold cross validation法を用いて性能評価を行った。もう1つは、

実験の2週目で取得されたデータを用いた性能検証である。これは、実験の1週目で取得されたデータセットを用いて作成した判別機を実際に利用した状況を仮定し、未知のデータが与えられた際に十分な汎用性を持っているかを検証することを目的としている。テストデータは、各状態における残りの半分(2週目で取得された36個の雑然とした状態と18個の整然とした状態)を用いて作成された。学習データと同様にダミーデータの作成を行い、各状態に対して720データを作成した。

なお本研究では、提案手法の有効性を他の手法と比較するために、以下に示す手法で抽出された特徴量を用いて、異なる判別機を作成した。まず、提案手法で注目した対人距離に基づくクラスタリングの有効性を検証するために、疑似t2統計量のみを用いたクラスタリングとの性能比較を行った。また、SVMによる判別機を作成するときに広く用いられる、センサ出力のRawデータを用いた場合との性能比較を行った。なお、判別機の学習に用いるデータには、全て同じものを使用した。

表1 各手法の推定精度

	10-fold cross validation	Test data
Raw data	80.21%	50%
Psuedo t^2	72.01%	67.43%
Proposed method	76.39%	81.04%

表1に、各手法の精度を示す。実験の結果、10-fold cross validation法を用いた場合には、Raw dataを用いた場合の判別率が最も高い値となり、提案手法よりも約4%性能が高かった。しかし、テストデータを用いた場合には、提案手法を用いた場合が比較手法の判別率に比べて15~30%ほど高い値となった。これは、未知のデータが判別機に与えられた場合に、提案手法が最も精度良く集団状態を推定できた事を示している。

これらの結果は、対人距離の知見に基づいて行ったクラスタリングと、特徴量抽出が集団状態推定に有効であることを示していると考えられる。特に、集団を対人距離に基づいてクラスタリングすることで、集団を構成するクラスタとロボットとの位置関係(距離・標準偏差・角度)を特徴量として抽出することが可能になったことが、性能向上に寄与したと考える。

本システムを利用することで、ロボット周囲の集団状態が雑然としているか整然としているかを推定することが可能になった。つまり、周囲が雑然としている際には、ロボットが周りの人に並ぶように話しかけるといった集団状態の制御が可能になった。

さらに、予備実験の結果から、ロボットの顔の向きや体の向きが、人々の注意をひきつけたり、集団状態の制御を行ったりするために重要であることが明らかになった。現在、これらロボットの身体動作によって発生する周囲の人々との位置関係の変化に関する解析結果を論文に取りまとめており、論文誌に投稿を予定している。

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)

塩見昌裕, 神田崇行, 野原健太, 石黒浩, 萩田紀博, コミュニケーションロボットのための対人距離に基づく集団状態推定手法の提案, 日本ロボット学会誌, 査読有, Vol. 27, No. 9, 2009, pp.96-103.

[学会発表] (計2件)

Takamasa Iio, Masahiro Shiomi, Kazuhiko Shinozawa, Takahiro Miyashita, Takaaki Akimoto, Norihiro Hagita, Lexical Entrainment in Human-Robot Interaction: - Can Robots Entrain Human Vocabulary? -,

The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2009), 査読有, 2009/11/13, St. Louis, MO, USA

塩見昌裕, コミュニケーションロボットを用いた実証実験について, 環境知能研究会, 招待講演, 2009年3月27日, 大阪大学

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

特になし

6. 研究組織

(1)研究代表者

塩見 昌裕 (SHIOMI MASAHIRO)

株式会社国際電気通信基礎技術研究所・知能

ロボティクス研究所・研究員

研究者番号: 90455577

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし