

家庭用ロボットの協調作業のためのインタラクション

人物発見の場合

小林亮博, 河野恭之, 木戸出正継

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

本研究は複数台のロボットがオフィスにおいて協調して効率よく人物を発見するシステムの構築を試みた。オフィス環境では、ロボットは人物位置の不確定性に応じた探索を行わなければならない。また計算機シミュレーションのような理想的な環境とは異なり、ロボットの行動には遅延や失敗の可能性がある。以上のような環境で複数台ロボットがタスクを遂行するには、ロボット間及び人間-ロボット間のコミュニケーションに留意しなければならない。本研究では状況に応じてタスク分割を変更し効率よく人探しを行うロボタ性の高いシステムを提案し、提案するシステムを2台のロボットに実装し検証を行った。

A Cooperative & Interactive Multiple Home Robot System -On the Case of Human Search-

Akihiro Kobayashi, Yasuyuki Kono, Masatsugu Kidode

Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

This paper presents a new cooperation framework for multiple mobile robots to perform given tasks, for example, to search a person efficiently in an office. These tasks have problems that robots must cope with inaccurate environmental conditions, and robots may fail or delay their tasks. In these environments robots must communicate with each other and a person to afford action needed for their tasks. We have newly proposed a cooperative and interactive framework that enables robots to share a given task according to their conditions. Experimental results have suggested that this framework is efficient enough to accomplish cooperation works.

1. はじめに

従来の移動ロボットの動作範囲は工場等の特殊な環境に限定されていた。しかし、技術の進歩に伴いより日常的な環境でロボットを動作させることが期待されている。本研究では特にオフィスにおけるロボットの利用を考える。オフィスにおいてロボットは人探し・道案内・届け物・空き会議室探し・ミーティングスケジュールの調整といった作業をこなすことが期待されている。このときロボットが必要とする能力は、精密な機械制御や大出力のアクチュエーターよりも、むしろ多様なセンサを用いた情報収集能力と、多様な環境への適応能力、人間と円滑にコミュニケーションを行

う能力である[1]。その中でも重要なのはロボットが特定の人物を探し出す能力である。届け物やミーティングスケジュールの調整といったタスクにおいて、ロボットはセンサの知覚外にいる特定の人物を探し出し、その特定の人物とコミュニケーションが取れる距離まで接近する必要がある。しかし、オフィス内の人物や物品の現在位置をオンライン情報として管理することは難しい。そこで本稿では、ロボットが人間とインタラクションを行いながらオフィス内を探索して目的の人物を発見するために必要な基本機能について考察し、その実装と実験結果について報告する。

2. 人探しにおける複数台ロボットの協調

オフィスで人間が作業を行う場所は慣習的に決まっていることが多い。例えば、ある人物のオフィスでの時間の大半は、個人用のデスクかミーティング用テーブルの前での作業に費やされ、また時には談話用のソファーにいるといった例が考えられる。そのため、探索者は探索すべき人物のオフィスでの行動を日常的に観察することにより、その人物の位置についてある程度予測が可能であり、その知識を用いて効率よく探索することが可能である。例えば、探索者は最初に目的の人物の机に行ってその存否を確かめ、目的の人物がそこで発見できなかった場合は、ミーティング用のテーブルに向かうといった探索方法が考えられる。本研究ではそのような短時間での目的人物の発見を目指す。

2.1 オフィス環境

従来、移動ロボットは工場で用いられることを前提に研究が進められてきた。工場ではロボットの移動を簡単にするためにロボット専用の通路を設ける・マーカーをつける等の環境整備が行われている。それに対し、人間に合わせて整備された環境であるオフィス環境は以下の特徴を持ち、ロボットが人探しを行う際の問題となる。

人物位置の不確定性

人間が日常的に活動を行うオフィスでは、天井カメラのような大掛かりな設備を環境に埋め込むことによる人や物の位置の管理は、コストやプライバシーの問題から不適切である。よって、ロボットにとって人物の位置は不確定なものとなる。人物位置に不確定性が存在する場合、ロボットはこれから移動する目的地を決定することが困難となる。

経路の不確定性

オフィスでは人や物の位置を管理することができないため、それらはロボットが移動する上での予期せぬ障害物となる場合がある。

ロボットの行動の不確定性

オフィスロボットには高コストをもたらす精度や機能を要求できない。また、オフィス環境はロボットが移動しやすいように整備されていない。以上2つから、オフィス環境ではロボットの精密な認識や制御を行うことは期待できず、ロボットの行動に不確定性が生じる。結果としてロボットの遅延やルート逸脱・停止を引き起こす可能性がある。

オフィス環境でロボットが人探しを行う場合、以上の3つが問題となる。本研究では中でも人物位置の不確定性とロボットの行動の不確定性に着目し、その解決を目指す。

2.2 オフィスロボットと人間の協調

オフィスロボットは人間の代理人として自律的にタスクを実行することが求められている。このときロボットには解決できない問題が発生したり、人間が持つ情報を必要としたりする。その場合、ロボットは自らの意図を正確かつ認知的負荷の小さい形で人間に伝達しなければならない。本研究は中でもロボットの情報収集時における人間とのインタラクションについて考察する。2.1 で述べたオフィス環境の不確定性は人間が原因となって引き起こされることが多いため、人間の判断が入った情報を得ることにより、ロボットは効率のよい行動が可能になると期待できる。また、オフィスではロボットが環境を正確に認識することは難しいので、人間に確認を取りながら情報を収集することで正確な情報の収集が期待できる。

ロボットが人間とインタラクションを行う際には様々なセンサ入力複合的に利用される。本研究では、ロボットが人間には負担の少ない画像認識により情報を収集し、人間にとっては親しみやすい音声対話により収集した情報の確認を行う。以上の方法による人間とロボットの間インタラクションについて検討し、実装を行った。

2.3 複数台ロボットの協調

近い将来ロボットは人間の日常生活の場に定着し、オフィスにおいて同時に何台も運用される場面が現れると考えられる。特に人探しタスクにおいては、移動すべき目的地を複数台に割り振ることにより1つのタスクを複数のサブタスクに分割することが可能であるため、作業の効率を大きく向上させることが期待できる。しかし、マルチロボットのタスク分割問題においては2.1節に述べたオフィス環境の特徴から以下の2箇所について問題が発生する。まず人物位置の不確定性から、システムが各ロボットに適切な目的地を割り当てることが困難になる。次にロボットの行動の不確定性から、ロボットが停止する可能性が出てくる。これはマルチロボットシステムではロボットの台数変化として現れる。このときロボットの台数変化に応じて動的にタスクを再分割する必要がある。

周囲の環境に応じて動的にタスク分割を行う複数台移動ロボットシステムの研究として Brumittらの GRAMMPS[2]がある。ロボットが移動中に経路上の障害物を発見した場合、GRAMMPS は各ロボットが取る経路をダイナミックに再計算することにより、経路の状態の不確定性に対応している。しかし問題設定の違いから、GRAMMPS では目的地の不確定性を扱っておらず、オフィスにおける人探しタスクにそのまま適用することはできない。

3. マルチロボットによる人探しシステム

3.1 環境情報サーバ

本研究ではオフィス環境における人物位置の不確定性に対し、ロボットがオフィスを巡回し、オフィス内の人物位置を把握するシステムとして環境情報サーバを設計した。環境情報サーバと各ロボットの関係は図1で表される。環境情報サーバは各ロボットから環境情報を収集し、現在のタスクを分割し、各ロボットに行動を指示する。本研究では環境情報サーバの動作状態を情報収集・人物発見の2つのフェイズに分け、それぞれ巡回モード・探索モードとした。巡回モードにおいては、環境情報サーバは各ロボットに移動目的地を指示し、各ロボットは目的地に存在する人物を環境情

報サーバに報告する。探索モードにおいては、環境情報サーバは、蓄えられた情報から全ロボットの移動プランを生成し、各ロボットに移動目的地を指示する。各ロボットは指示された目的地まで移動を行いそこで人物発見処理を行う。移動した先で目的の人物が発見できた場合は探索モードを終了する。目的の人物が発見できなかった場合はその旨サーバに報告し、サーバは新たな目的地を各ロボットに指示する。

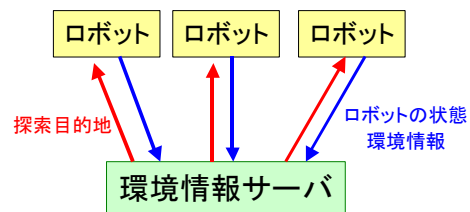


図1 環境情報サーバ

3.2 巡回モード

本研究では人物位置の不確定性に対し、確率的表現を用いた重みつき環境マップに人物位置を表すことを試みる。重みつき環境マップはノードとリンクで表されたトポロジカルマップである。各ノードにはそれぞれの人物の存在確率が記録されている。ノードとして表したものは“行き止まり”、“曲がり角”、“十字路”、“分かれ道”といった経路上の特徴である。本研究では、オフィス内に存在する人物は重みつき環境マップのノードのどこかに居ると仮定し、そのノード上においてのみ人物の認識を行う。また、人物がオフィスに不在の状態を表現するオフィス外という架空のノードを設ける。巡回モードではロボットは重みつき環境マップの各ノードを順番に探索する。そのときノード上に存在した人物を認識し、サーバに報告する。ロボットが1回の巡回で人物Aを発見できなかった場合、ロボットはオフィス外のノードで人物Aを発見したとする。1回の巡回につき1つのノードで人物を発見できる。地点xにM回訪れたうち人物Hを発見できたのは N_{xH} 回する。このときの地点xにおける人物Hの存在確率を

$$P_{xH} = \frac{N_{xH}}{M} \quad (1)$$

とおく。厳密にはこの表現はある時点における人

物の分布を示しているわけではない。原因は、ロボットの観測のタイミングによって1回の巡回で同じ人物を2回以上発見すること、オフィス内に人物が存在するにもかかわらずロボットがその存在を確認できないことの2つである。しかし、長期間にわたる観測の結果が得られれば、以上2つを原因とする誤差は減少することが期待される。

3.3 探索モード

探索モード時に重みつき環境マップから各ロボットの移動目標と移動経路を決定してゆくプロセスについて述べる。本研究では目的地に至るまでのノードの列を経路と呼び、各ロボットが向かう予定の目的地の列を行動プランと呼び、ロボットが人を発見するまでの予測時間が最短となるプランを最善のプランと呼ぶ。環境情報サーバが重みつき環境マップより各ロボットの目的地を求める手順は以下の通りである。

重みつき環境マップに存在するノードの内、目的とする人物の存在確率がある閾値より高いものを候補地として絞り込む。

候補地のノードと各ロボットの現在位置を表すノードから成るグラフを作成する。

グラフから各ロボットの取りうる候補地列を全て探索し、ロボット群が取りうる全プランを算出する。全プランの内1台のロボットに対して極端にタスクが集中するプランは棄却し、プランの候補を絞り込む。

導出した全てのプランについて一定の評価式で評価を行い、評価値の最も高いものを最善のプランとする。

最善プランに基づき各ロボットが次に移動する目的地を指示する。

各ロボットの現在位置と候補地は図2のようにグラフ表現される。 l_{xy} は各候補地間の最短距離を表しており、次のように定義する。オフィス環境では機械的に精密な動作をするのが難しく、旋回行動を多く必要とする経路はロボットに精度を要求する。そこで本研究では、オフィス環境における

目的地までの経路の内、旋回角の合計が最小で距離が最短の経路を最短経路とする。本研究では、2.1節で述べた経路の不確定性については考慮せず、地理的環境は一定と仮定している。この仮定により、ロボットが次に移動する目的地が決定すると目的地までの最短距離は一意的に決定される。

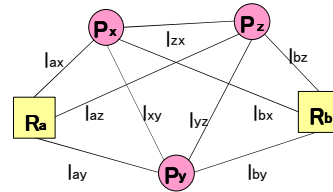


図2 ロボットと目的地候補のグラフ表現

環境情報サーバはグラフからロボット群が取りうる全ての目的地の組み合わせを計算し、プランの集合を生成する。このとき、1台のロボットに振り分けられる目的地数の最大値が最小値の2倍以下に収まるようプランの集合を限定する。

目的の人物を最も早く発見できる行動プランを見つけるため、ロボットは発見に要した時間に反比例した報酬を得ると仮定し、所要時間を予想して報酬の期待値により行動プランを評価する。また、本システムではロボットが探索を行う間の人物移動を捉えることはできない。そこで、ロボットが探索を行う間は人物の移動は無いと仮定する。その仮定が成り立つ場合、ロボットは任意の1つのノードで目的の人物を発見できる。よって、全ロボットが得る報酬の期待値 E は式(2)で表すことが可能である。

$$E = P_1 \frac{R}{t_1} + P_2 \frac{R}{t_2} + \dots + P_n \frac{R}{t_n} + P_0 \cdot 0 \quad (2)$$

$$(ただし P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_n = 1)$$

p_x : ノード x における目的の人物の存在確率

R : 報酬の定数

n : 目的地の候補数

t_x : 任意のロボットが x に到着するまでの時間

3.4 ロボットの動作の不確定性への対応

オフィスロボットは行動に不確定性を持つので、ロボットが遅延を起こしたり行動不能に陥ったり

する．マルチロボットシステムではロボットの停止はロボットの台数の変化となって現れる．ロボットの台数の変化により1台のロボットが取るべきプランは大きく変化するので，各ロボットが行っているタスクの進行状況とロボットの台数に応じて再プランニングを行うことが必要である．本研究では，以下の3つを再プランニングすべきタイミングとして挙げた．

- A) いずれか一台のロボットが目的地での人物の発見に失敗
- B) いずれか1台のロボットが行動不能
- C) 行動不能になったロボットが活動を再開

上記の3つを挙げた理由を述べる．本研究では，各ロボットの現在位置をタスクの達成状況とし，タスクの達成状況のチェックはいずれか1台のロボットが目的地での人物の発見に失敗した場合に行った．そのためA)のタイミングで再プランニングを行った．また，いずれか1台のロボットが行動不能になった場合と，行動不能になったロボットが活動を再開した場合にロボットの台数が変化する．そのためB),C)のタイミングで再プランニングを行った．

4. システムの実装及び実験

4.1 協調システムの実装

実験用の機体として NEC 製パーソナルロボット R100 を2台用いた(図3)．R100はNECにおいて家庭向けに開発されたパーソナルロボットであり，対話機能・人物認識機能による人間とのインタラクションを得意とする[3]．しかし，コンパスを搭載しておらず正確な移動が困難である．

R100の構成を図4に示す．R100はロボット本体とブレインPCとで構成され，ロボット内蔵PCとブレインPCは無線LANで接続されている．両目にはCCDカメラが内蔵されており，ロボットが取得した画像と音声は2.4GHz音声・画像送受信機でブレインPCの画像認識部と音声認識部に送信される．頭部にはタッチセンサが内蔵されており，なでられたこと・叩かれたことを認識で

きる．音声・画像以外のセンサ入力は，ロボット内蔵PCのセンサ部で処理され，無線LANによりブレインPC内の行動決定部に送られる．行動決定部は次の行動を決定しメカ制御部に指令を送る．メカ制御部は，モータ・LED・スピーカを制御してロボットを動作させる．本研究ではブレインPC上の行動決定部に自己位置同定処理，人物認識処理，復帰処理，環境情報サーバとの通信処理を実装し人探しシステムを実現した．



図3 R100

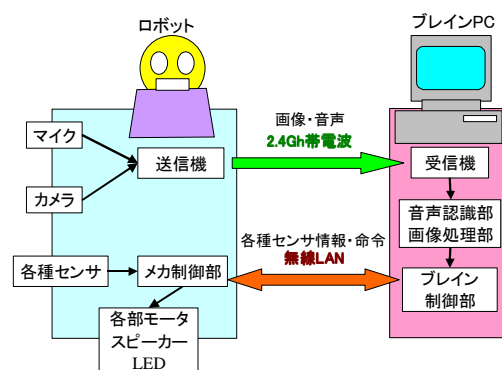


図4 R100の内部構成

4.2 モジュールの実装

本研究が実装したモジュールのうち，環境の整備を必要とした自己位置同定処理と，人間とのインタラクションを伴う処理である行動不能時の復帰処理と人物認識処理の詳細を述べる．本研究では自己位置同定処理のために通路に2色のラインを引きマーカーとした．これは2.1節で述べたロボットの為に環境整備を行わないというオフィス環境の条件に反するが，通路のマーカーはオフィスでの人間の活動を阻害しない程度の整備であるとして採用した．

本研究では，ロボットがマーカーを認識できなくなった状態を行動不能状態とした．本アーキテ

クチャでは無線伝送系で生じた画像のノイズによりロボットがマーカを認識できなくなる状態が頻繁に発生する。本研究で実装した自己位置同定処理には自力での復帰処理を組み込んでおり、ロボットは後退することによりマーカを発見しようと試みる。しかし、一定値以上後退してもラインを再発見できない場合、ロボットは自力での復帰を不可能と判断し、環境情報サーバに自分のライン逸脱を報告し、人間に最寄りのノードにロボットを移動するよう音声で要求する。その一例を表1に示した。本研究では人間は復帰作業の完了を伝える場合、ロボット頭部をなでると規定した。これは、人間の手による復帰処理が何時行われるか予想ができず、ロボット自身が音声を発声しているため、音声認識では難しいからである。ロボットは頭部タッチセンサの反応により人間により救助されたと認識し、サーバに新たな目的地の算出を要求し、移動状態への復帰を試みる。

<p>R : ロボット H : 人間 R-1 : 「助けて」 R-2 : 「x 番の交差点で の方角を向けてください」 R は 2 の台詞をくり返す H はロボットの指定通りに R を移動させた後に ロボットの頭をなでる R-3 : 「ありがとう」 R は移動状態に入る</p>
--

表1 復帰時のインタラクション

人物発見処理においては、まずカメラから得られる画像から人間の発見を行う。画面内に人間を発見できなかった場合は、ノード上で 90 度回転し再度人間の発見を行う。これを 4 回繰り返し、人間が発見できなかった場合はこのノードには人間は存在しなかったものとする。人物を発見できた場合は、画像による人物識別処理を行い、音声対話により確認する。本研究では音声認識の認識率を上げるために、認識語彙を制限した。表2にその対話例を記載する。H は人間の応答を示し、R はロボットの応答を示す。H-1, H-3, H-4 の応答においては「はい」「いいえ」のみ。H-2 においては人物名のみを認識語彙としている。

<p>R : ロボット H : 人間 R-1 : 「そこにいるのは A さんですか？」 H-1 : 「いいえ」 R-2 : 「名前を教えてください」 H-2 : 「B です」 R-3 : 「B さんですね」 H-3 : 「はい」 R-4 : 「ここには他にどなたがいらっしゃいますか？」 H-4 : 「いいえ」</p>

表2 人物識別時の対話例

4.3 実験

本研究では、実機を用いて重みつき環境マップを生成し、生成されたマップより人物発見の実験を行った。ロボットの持つバッテリーの持続時間の都合上、巡回モードでの情報収集は1台のロボットで行った。1回の巡回では全てのノードで1回ずつ人物発見処理を行い、1日合計8回の巡回を3日間行った。図5は実際にロボットが作成した2人の人物の重みつき環境マップである。ノードの横の数字はそれぞれ人物A, Bの存在確率を表している。A, B 両方の存在確率が非常に小さいノードは表記を省略した。

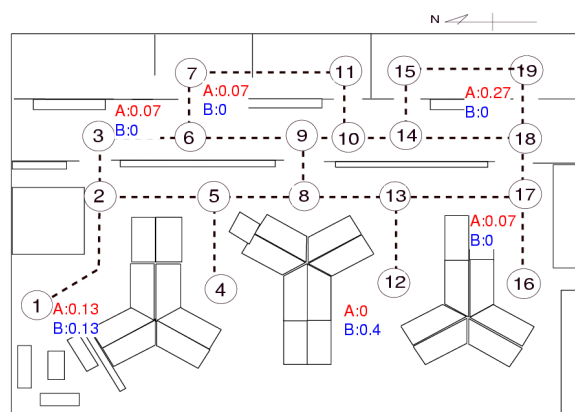


図5 実際に作成された重みつき環境マップ

R1 がノード 8, ロボット R2 がノード 9 に到達した状態で図5に示した人物Aの探索要求があったと仮定して、ロボットの動作を観察した。また、ロボットの台数変化に対するシステムの挙動を確かめるため、実験者の手により一方のロボットの移動を妨げ行動不能の状態にした。図6, 図7は

ロボットの移動の様子を示した図である．R1，R2 は 2 台のロボットを表している．

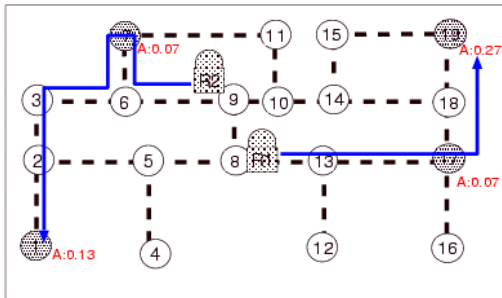


図 6 実験(a)

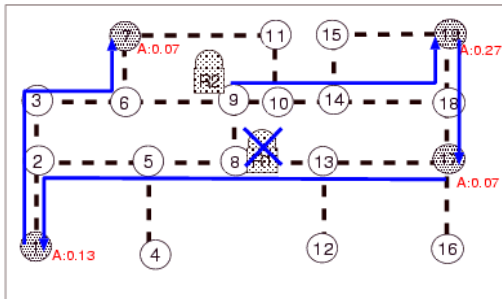


図 7 実験(b)

(a) R1 : 8 17 19 ~ R2 : 9 7 1

環境情報サーバは，初期状態での人物探索要求に対し R1 はノード 17 からノード 19，R2 はノード 7 から 1 の順で探索を行うプランを立て，各ロボットに指示を出した．

(b) R1 : ~ R2 : 9 19 17 1 7]

ロボットが移動を開始した段階で，実験者は R1 の移動を阻害し，R2 を行動不能の状態にした．R2 は行動不能になったことをサーバに報告した．サーバはプランの再検討を行い，ロボット R1 がノード 19，17，1，7 の順に移動を行うプランを生成した．R2 は目標を変更しノード 2 への移動を開始した．

4.4 考察

この実験では図 5 にあるような一部のノードの存在確率が高い重みつき環境マップが作成された．ノード 19，ノード 12 はそれぞれ人物 A，B の専用デスクの付近であり，ノード 17 は共用のプリンタの前である．ノード 7 は秘書のデスクの前であり，ノード 1 付近には談話用のソファが置い

てある．以上のノードは人物 A，B を発見できるノードとして妥当であると考えられる．また，実験中，人物 A，B とともに席を短時間外す場面が多く見受けられたが，ロボットはその変動をオフィス内に人物は存在しないとしか捉えられなかった．これは，1 回毎の巡回の間隔を大きく取りすぎたためと考えられる．ロボットの認識性能を向上させるとともに，巡回モードにおけるロボットの台数を増やすことにより，それぞれのノードに訪れる間隔を小さくし，重みつき環境マップの精度を向上することが可能になると考えられる．

探索モードにおいては，ロボットの台数の変化に応じてロボットが動的に目的地を変更していくことが確かめられた．また，ロボットの動作の観察からプラン生成時の予想所要時間と実際に要した時間の誤差が大きいことが確認された．原因は，ロボットの移動に要する時間を単純に移動距離を用いて予想していたため，以下の 2 つの原因から生じる所要時間の変化を予想できなかったことである．1 つは，画像を用いてナビゲーションを行っているため，無線伝送系で生じた画像のノイズにより移動時間が変化したことであり，もう 1 つは，人物発見処理において人間とのインタラクションにより所用時間が変化したことである．

本研究ではロボットと人間の応答に強い規定を設けていたため人間に負荷がかかる応答となる場面や，誤認識を引き起こす場面が見受けられた．以下にその主立った例を述べる．

人物発見処理において，人間が視界内に存在するにもかかわらず発見に失敗し，別の角で発見を行おうとする場面が多く見受けられた．このとき人間が取った行動は 2 種類であった．1 つはロボットの回転に合わせて視界内に移動することであり，もう 1 つはロボットに対し音声で自分の方向を知らせようとしたことであった．そこで，ロボットが音方向検出を行い，人間の方を向くことにより人間の負荷が減少すると期待できる．また，移動を行っていない人間は作業を中断してロボットとの対話を実行することが多いが，移動中の人間はロボットを無視してしまう場面が多く見受けられた．人間が一時的に存在した位置を記録する

ことは、2 章で述べた人探しを遂行する上では障害となるため、結果的に探索モードにおいて有効に働いたと考えられる。

人物認識処理においては、ロボットは画像からの人物識別を優先していたため、対話の最初に人物の確認を行っていた。しかし、無線系のノイズによる画像の劣化により人物を誤認識し、結果として対話ステップ数を増加させてしまうことが多く見受けられた。これに対し、認識時の尤度によってロボットの応答を変化させる、人物認識時に重みつき環境マップから得られる存在確率を考慮するなどの対策が考えられる。

5. おわりに

本研究ではオフィス環境で複数台のロボットが効率よく人探しを行うためのシステムを構築した。このときに問題となる人物位置の不確定性とロボットの行動の不確定性に対応するため、環境情報サーバを用いた。人物位置の不確定性に対応するため、重みつき環境マップを用いた不確定性を持つ目的地に対する効率良い移動方法を提案した。ロボットの行動の不確定性に対応するため、ロボットが行っているタスクの進行状況に合わせて再プランニングを行った。以上のシステムを2台のロボットに実装し、実際のオフィス環境内で動作を確認した。この実験により、人物を発見するまでの時間を最短とするアルゴリズムが期待通りに動作することを確認した。また、ロボットが台数に応じて移動経路を変化させることを確認した。

本研究では、人間とのインタラクション面において多くの課題が残された。オフィスにおいて人間とインタラクションを用いて情報の収集を行うことは不可欠である。しかし、ロボットが人間とインタラクションを行うことは人間にとって作業負担となる。本研究では、特に人物発見処理での対応の改善が人間の負担を下げ、認識率を向上する上で重要と考える。

今後は上記の問題の克服と共にインタラクションにおける人間の負担を減らしつつロボットの効率の良い行動を実現する方法を模索したい。その一例として、ロボットが表現する重みつき環境マ

ップの抽象化が考えられる。本研究ではロボットが移動不能になった場合、復帰位置をノード番号で表現していた、これを「助手室」「工作用デスク前」等の人間が認識しやすい表現に抽象化する必要がある。また、これにより探索時において、人間に質問することによって目的の人物の位置を知ることができる。しかし、本研究で用いている語彙数を限定した音声認識では人間が言葉で用いる位置表現の複雑さに対応しきれない。音声認識対象語彙数が多くなればなるほど、認識率は低くなるため、認識可能な位置表現を十分検討し絞り込まなければならない。また、人間が絞り込んだ語彙で自然に応答できるよう、ロボット側の応答を制御しなければならない。そのためには、人間の空間認知と言語の関係を整理し、人間が用いるあいまい性を持った質問内容をロボットの制御パラメータに変換できる必要がある。人間の空間認知能力には対話相手となるロボットの身体性も関わってくると考えられる。今後は、大きさや機能の異なるロボットに対して人間の反応がどのように変化するか観察し、ロボット身体性が人間の空間認知に与える影響を明らかにしてゆく予定である。

謝辞

この研究の一部はNECマルチメディア研究所ロボット開発センターの協力により行われた。

参考文献

- [1] 松井俊浩: "オフィスロボット Jijo-2" 工業技術 (1999)
- [2] Barry L. Brumitt, Anthony Stentz: "GRAMMPS: A Generalized Mission Planner for Multiple Mobile Robots In Unstructured Environments", Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (1998)
- [3] 藤田善弘: "パーソナルロボット R100", 日本ロボット学会誌 Vol.18 No.2, pp198-199 (2000)
- [4] 小林亮博, 河野恭之, 木戸出正継: "オフィス環境における複数台ロボットの協調動作", 人工知能学会全国大会(15回)論文集 (2000)