

3 A-5

HURON: 人間とロボットの協調による 移動ロボットのためのナビゲーションシステム*

吉野 隆

川杉 憲二

中内 靖

安西 祐一郎†

慶應義塾大学‡

1 はじめに

これまで、計算機技術の飛躍的な進歩により、オフィスや家庭内などの一般社会においての個人的な作業に対する負荷が軽減されてきた。さらに近年、人間同士の協調作業に対する支援の研究として CSCW の研究、ならびにグループウェアの開発が活発に行われている。

しかしながら、実際の協調作業では計算機で扱える電子的な情報だけでなく、書類や書籍などの実在する物質を扱ったものが存在する。そこで、このような物体に対して働きかけることのできるメディアとして自律移動ロボットを利用できることが望まれている。

情報伝達のメディアとして利用されるロボットは、オフィスや家庭のように、人間と共存する環境で自律移動できる機能が必要である。これまでロボットは、産業用ロボットとして特定の分野において実用化されているものの、オフィスなどで利用される自律移動ロボットとしては、作業空間が複雑であり、しかも高度な機能を要求されるため、その実用化は困難なものとなっている。

本稿では、自律移動ロボットの実用化に向けて、ロボット単体では実行できないタスクを人間と協調することにより作業の遂行を可能とする、自律移動ロボットのためのナビゲーションシステム HURON(HUman assisted RObot Navigation system) を提案する。

2 人間と協調するロボット

2.1 人間とロボットとの協調

一般に自律移動ロボットのナビゲーションシステムでは、人間から目的地を与えることにより、ロボットはタスクを割り当てられる。その後、ロボットは人間からのタスクをいくつかの実行可能なサブタスクへと分割していく。ところが、与えられたタスクによっては、ロボット単体では実行不可能なサブタスクが存在する。ここで、ロボットが実行不可能なサブタスクは大きく以下の 2 つに分類される。

- ロボットの機能では実行できないタスク
- ロボットの故障により遂行できなくなったタスク

自律移動ロボットは、設計方針などの違いによりそれぞれ異なる機能を持っている。また、故障による機能の低下を除けば、ロボットの機能は製作されたときに決定されており、一つ一つの動作に対して“実行できる”と“実行できない”を区別することが可能である。

このことから、はじめからロボットにできることとできないことを明確に区別し、サブタスクへの分割の際に

“実行できない”と定義されたサブタスクが存在した場合には、GPS(General Problem Solver)としての人間に“協調作業の申し出”という形で支援を求めるこにより、必要に応じて人間との協調作業を行うナビゲーションシステムが実現できる。

ここで、ロボットが協調する相手である人間は、以下の 2 種類に大別される。

- 周囲に存在する不特定な人間
- 遠隔地にいるロボットのオペレータ

これらの人間の相違点は、ロボットとのインタフェースの違いにある。前者はロボットの周辺環境を良く認識できるが、意志の疎通に際しては現時点では十分ではない対話システムを使わなければならない。一方後者は、カメラなどを通した一部の環境の情報しか入手できないが、日頃からロボットと接している際の使いやすいインタフェースを保有している。

以上のような考察から、人間と協調を行いつつ移動作業を行う自律移動ロボットにおいては、目標から分割されるサブタスクを、

- ロボットが得意
- 周囲の人間が得意
- 遠隔地にいるロボットのオペレータが得意

の 3 種類に分類し、各サブタスクの実行時にその分類に従って単独あるいは協調して動作することが望まれる。

2.2 既存のシステム

人間とロボットが協調して一つの作業を行うというシステムとして MEISTER や FRECS が開発されている。

MEISTER[1] は、ロボット化の望まれる作業を細かいサブタスクに分割し、それぞれの作業の特徴からロボットが得意な動作と遠隔操作による人間が得意な動作へと分類する。この方法により、遠隔地にあるロボットがオペレータと有效地に協調作業を行える環境が提供されている。

一方 FRECS[2] は、移動ロボットがフェイル状態に陥った場合に、そのロボットが人間と協調することによってフェイル状態から復帰し、実行中であった最終目標への移動を継続することを可能とするフェイルリカバリーシステムである。

これらのシステムは、対象は異なっているものの、どちらもロボットにとって負荷が重く、かつ人間は比較的簡単に実行できる作業を、ロボットの代わりに人間が行うというものである。どちらの研究においても、ロボットと人間との役割分担に注意が払われ、作業の分担が予め明確に決められている。しかしながら、双方とも、ロボットが協調する相手が“遠隔地にいるロボットのオペレータ”的である。ロボット周囲の環境を的確に認識でき、遠隔地にいる人間よりも直接的に協調作業を行うことのできる“周囲の人間”との協調についての考慮が不十分である。

*HURON: Human Assisted Robot Navigation System

†Takashi YOSHINO, Kenji KAWASUGI, Yasushi NAKAUCHI

‡Keio University

そこで本研究では、移動ロボットが周囲の人々が多く活動している環境の中で動作を行っているという特徴から、“周囲の人間”との協調を行うことの重要性を考え、これらを実現するナビゲーションシステムとしてHURONを構築する。

3 HURON の設計

HURONでは、作業環境の地図をグラフとして保有する。ここで、地図とは“移動”や“段差の乗り越え”などといった実行すべきタスクを関連づけてまとめたものである。グラフの各アークには、サブタスクが割り当てられ、サブタスクごとに，“ロボットだけで行う”，“周囲の人間と協調する”，“オペレータと協調する”の種別が明記されている。さらにアークには、タスクの実行のために必要な周囲の環境や、協調の際に用いる発話のパターンなどが記録される。これらの情報はロボットの起動時に予め与えられるものであり、作業環境だけでなく、使用するロボットの能力に依存する。

HURONは、オペレータから目的地を指示されると、現在地から目的地までに必要なサブタスクの実行手順をグラフを用いて作成する。作成された経路をもとにロボットはサブタスクの実行を行う。ロボット自身のみで遂行できるタスクについては、そのロボットがもともと保有している機能を用いて実行する。また、オペレータとの協調の場合には、指令を受けとった際に用いたインターフェースを利用してオペレータに協調の申し出を行う。一方、周囲の人間との協調を行う場合には、音声による対話が必要であり、そのためには音声合成装置と音声認識装置が必要となる。協調するべきサブタスクの実行時にロボットは音声合成装置に対して発話を要求する。周囲の人間の反応は音声認識装置を介してロボットに返される。協調の申し出が承諾された場合、ロボットはそのサブタスクが実行されたものと判断する。

4 実装

HURONの有効性を確かめるために、我々の研究室で製作した自律移動ロボット Einstein[3] 上にHURONを実装した。Einsteinは2つの駆動輪と2つの補助輪、そして、1つの赤外線センサと、前後左右の4方向にそれぞれ1つずつの超音波センサを持つ。また、半二重の無線通信を用いてワークステーションと通信を行うことができる。

HURONでは周囲の人との対話のために音声合成装置¹と音声認識装置²が必要である。Einsteinへのこれらの装置の実装では、ロボットの積載重量上の問題からロボット本体に積載することは不可能であった。そこで、それらの装置をロボットから離れた場所に配置し、ワークステーションから制御できるようにした。このことにより、ロボットはワークステーションを介して、ロボットの周囲にいる人間と自然言語対話を行えるようにした(図1)。

5 実験

Einsteinを利用して、我々は以前から同一フロア内で移動作業実験を行ってきた。しかしながら、階段やエレベーターを利用したフロアをまたにかけての移動作業は不可能であった。

そこで実験では、ロボットにできない機能として、エレベーターに乗るという動作を考えた。エレベーターに乗るため

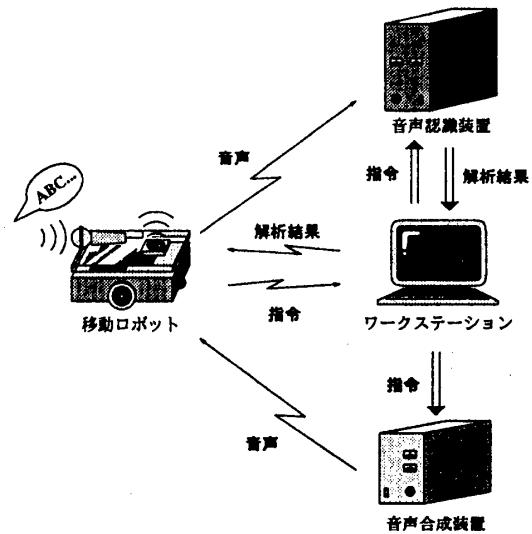


図1：音声対話のためのシステム

には、“押しボタンを押す”という動作が必要であり、これはロボットにはできない。実験では、実際にエレベータ付近にHURONを実装した移動ロボットを配置して、通りがかった人に「ボタン押して下さい」と発話することにより“ボタンを押す”ことを依頼し、人間との協調を行って目的のタスクを遂行することができた。

6まとめ

人間と協調することによって“ロボットだけでは実行不可能なサブタスク”を人間からの支援という形で遂行し、与えられた目標を達成することのできるナビゲーションシステムとして、HURONを提案した。また、ロボットが周囲の人間と協調することにより、遠隔操作では不可能であった、ロボットの機能以上の作業が可能となることがわかった。

HURONでは周囲にいる人間のうち協調相手として選ばれる人間は、赤外線センサによって最初に発見された人物である。ここでは、誰もが援助可能であるサブタスクを考えているのであるが、ある状況ごとにその依頼を最も的確に受理してくれる人が存在するはずであり、どの様にしてこの人間を選択するかの検討が必要であると考えられる。

参考文献

- [1] 佐藤, 松井, 平井：“人間との協同作業を特徴とする遠隔作業ロボットシステム” 日本ロボット学会誌, 第9巻第5号, pp.602-613, 1991
- [2] 中内, 佐藤, 山本, 安西：“FRECS:自立移動ロボットのフェイル復帰のためのヒューマン-ロボット・インターフェースシステム” 日本ソフトウェア科学会第9回大会論文集, pp.169-172, 1992
- [3] 山崎, 安西：“パーソナルロボットのためのアーキテクチャの提案” ロボティクス・メカトロニクス講演会'92 講演論文集, vol.A, pp.51-56, 1992

¹NTT しゃべりん坊 HG

²松下技研 VC-171