

通信を用いた複数自律移動ロボットの相互衝突回避

尾崎 功一^{*1} 浅間 一^{*2} 石田 慶樹^{*3}
松元 明弘^{*4} 遠藤 勲^{*2}

Collision Avoidance using Communication between Autonomous Mobile Robots

Koichi Ozaki^{*1}, Hajime Asama^{*2}, Yoshiki Ishida^{*3},
Akihiro Matsumoto^{*4} and Isao Endo^{*2}

This paper addresses mutual collision avoidance between multiple mobile robots based on a layered strategy. In this strategy, static motion generation and dynamic motion generation of several levels are provided, and a proper level of dynamic motion generation is selected for mutual collision avoidance according to the complexity of the situation. We have implemented two typical methods in the layered strategy, which are rule-based local collision avoidance and negotiation-based global one using communication. In each method, a robot detects collision and applies as a local method as possible. Experimental results show two actual mobile robots can achieve mutual collision avoidance based on the layered strategy.

Key Words: Multiple Mobile Robots, Collision Avoidance, Communication, Traffic Rule, Negotiation

1. はじめに

最近では、複数の自律した移動ロボットで構成されるシステムやそれらの協調に関する研究[1]が注目されている。このようなシステムでは、おのおののロボットが協調的に行動することにより、柔軟性とロバスト性を実現することが期待されている。これまで我々は、作業に必要な機能を複数のエージェントに分散させた自律分散型ロボットシステム ACTRESS [2]の開発研究を進めてきた。ACTRESSは、複数のロボット（移動ロボットを含む）あるいは機器（計算機）など複数の自律エージェントから構成され、各エージェントには通信機能が装備されている。これまで我々は、複数のロボットによる行動形態を、(1)個々のロボットがそれぞれ並列的に動作する形態（個別行動）、そして(2)協力し合って動作する形態（協力行動）、とに分類した。本論文では、前者の行動形態の例として、移動ロボット間の衝突回避問題を取りあげ、これについて議論する。

これまで、移動障害物を対象とした衝突回避のための経路計画[3]~[6]が提案されている。しかし、これらはシミュレー

ションのみで議論されており、実際のロボットでどのように計画に必要な情報を入手するかについては検討されていない。また、実際にロボットを用いた衝突回避については、センサ情報に基づいて衝突回避行動を決定する手法[7][8]が提案されているが、これらの手法では、センサから局所的な情報しか得られないため、複雑な状況ではデッドロックに陥ることが予想され、また、衝突対象（移動障害物）との情報交換ができない。Yutaらは、遠慮的協調を提案し、移動ロボットが互いに、道の譲り合いによる衝突回避の実験を行った[9]。ここでの移動ロボットは通信によりロボットの状態を認識するが、常に通信しながら走行しなければならないので、ロボットの台数の増加に伴い通信の処理にかかる負荷が非常に高くなる。また、加藤らは、交通ルールの適用により衝突回避を実現したが[10]、センサ情報のみによってルールの条件を判別しなければならず、また、状況に応じて多様なルールを用意をしなければならなくなる。

本論文では、実際の移動ロボットへの適用を考慮し、複数の手法により階層化された衝突回避戦略について提案する。本戦略では、単純な状況では局所的方法で、また、複雑な状況では通信による大局的方法で、効率的に衝突回避を行う。本研究では、特に、本戦略に基づいてルールと通信を利用した二つの手法を開発し、実際の移動ロボットによる衝突回避実験を行う。

原稿受付 1995年2月13日

^{*1}宇都宮大学工学部

^{*2}理化学研究所

^{*3}九州大学大型計算機センター

^{*4}東洋大学工学部

¹Faculty of Engineering, Utsunomiya University

²The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN)

³Computer Center, Kyushu University

⁴Faculty of Engineering, Toyo University

2. 移動ロボット間の衝突回避戦略

2.1 静的動作生成と動的動作生成による戦略

本論文では、移動ロボットなど移動する物体に関する情報(位置、姿勢、速度など)を動的環境情報と呼び、壁や静止した障害物など静的物体に関する情報(地図)を静的環境情報と呼ぶ。移動ロボットは、ゴールまでの経路を計画する際、環境情報を知ることが必要となる。しかし、複数のロボットが行動する環境では、動的環境情報を常に把握することは困難であると考えられる。したがって本研究では、動的環境情報は管理せず、静的環境情報のみを管理することとした[2]。

そこで本論文では、移動ロボットにおける動作生成の流れをFig.1とした。ロボットは、まず、静的環境情報だけに基づいて、経路を計画し、動作を生成する(静的動作生成)。そして、衝突の可能性の検出(以下、衝突検出と呼ぶ)を行いながら走行し、衝突検出を行うたびに、動的環境情報に基づいて衝突回避のための動作を生成する(動的動作生成)。

2.2 センシング機能と通信機能の特性

一般的なセンサでは、通信と比較して、局所的な検出領域を持ち、負荷を制限して利用することができる。しかし、検出対

象が想定されているため、それからはずれると信頼性の高い情報を得ることができない。また移動ロボットには、電源や処理能力の制限により、限られた性能のセンサしか搭載できない。このため、貧弱な情報しか得られない。

通信による情報は、ロボットが状況を知らせる場合など、メッセージとして伝達される。すなわち、ロボットが明示的に発する情報であるため、信頼性は高く、通信プロトコルを整備することにより、多く情報を伝達することが可能である。しかし、通信は大局的な情報伝達領域を持つため、エージェントの台数に伴い、システムにおける通信処理の負荷が高くなる。

2.3 衝突回避のための階層型動作生成戦略

複数の移動ロボットが行動する環境では、衝突による問題が発生するが、システム全体の効率を考慮すると、簡単な問題では、できるだけ局所的な情報交換のみで解くことが望ましい。しかし、問題が複雑になると、大局的に状況を把握して解くことが必要となり、すべての状況を局所的な処理のみで達成することはできない。そこで本論文では、システムの効率を維持しながら、複雑な問題にも対処できるように、問題の複雑さおよびロボットの性能に応じた複数の衝突回避手法を用意し、それを階層化して、手法を使い分けられるような戦略を設計することとした。衝突回避問題における要求を以下にまとめる。

- (1) 様々な問題に応じて複数の解決手法を用意すること。
- (2) 可能な限り局所的・分散的に問題を解決できること。

本論文では、以上から、「集中一分散」、「大局一局所」という観点から、Fig.2のような衝突回避のための階層型動作生成戦略を提案する。Fig.2は、複雑な問題を解くために用意された手法を階層的に表現している。この戦略は、静的動作生成から構成される。一方動的動作生成では、ロボットは低いレベルの手法を適用し、その手法で動作が続行できない場合に、レベルを一段上げ、より大局的に情報を収集し動作を生成する。本戦略では、低いレベルでは衝突する当事者どうしが問題解決を行い、高いレベルになるにつれ、デッドロックを解決する集中的なエージェントが大局的に問題解決を行い、さらに最終的

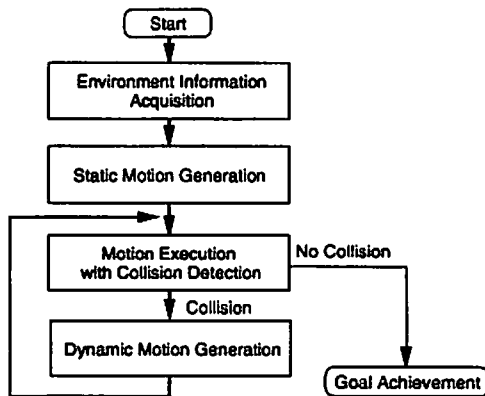


Fig.1 Processing flow of motion generation

Level	Method for Path Planning	Problem Solver for Path Planner	Utility
High	Problem Solving by Human Operator	Human Operator	Communication
	Problem Solving by A High-Level Deadlock Solver	Deadlock Solver (Computer)	
	Problem Solving by A Low-Level Deadlock Solver		
	Path Planning by A Robot Leader	Mobile Robot	
	Collision Avoidance Based on Communication		
	Collision Avoidance Based on Rules		
Low	Collision Avoidance Based on Local Algorithm		Sensing
	Static Path Planning		

Fig.2 Layered strategy for collision avoidance

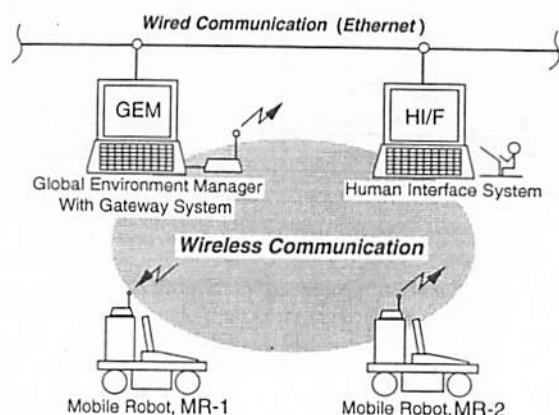


Fig. 3 Configuration of prototyped robot system

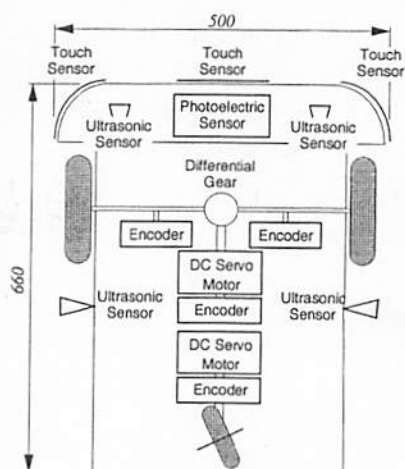


Fig. 4 Structure of mobile robot

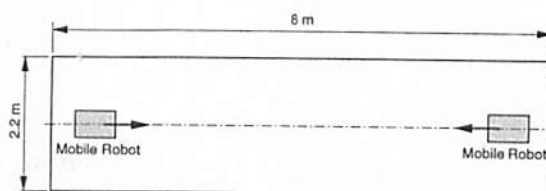


Fig. 5 Experimental environment

な手段として、人間の介入も考慮している。ただし、レベルが上がるにつれ、エージェント間の通信の役割が重要となる。

移動ロボットどうして対処するレベルでは、局所的なアルゴリズムによる衝突回避手法を最も低いレベルとし、センサ情報による反射的な行動などがこれに相当する。次のレベルでは、ルールに基づく動作生成を行う。ロボットは、センシングによって状況を認識し、ルールを適用することにより衝突を回避する。ルールを適用できない場合に、次のレベルとして、ロボット間通信に基づいた衝突回避を行うこととした。ロボットは、通信を用いることにより、衝突対象と位置、速度、経路などの情報を得ることができ、さらに相手との交渉によって回避動作を決定できる。さらに次のレベルでは、ある1台のロボット（リーダー）が、大局的に情報を収集して、衝突回避のための動作を生成し、それを指示することとした。

3. 衝突回避手法の構築および実験

3.1 プロトタイプシステムの構成

我々は、これまでに ACTRESS のプロトタイプシステムを開発した [2]。今回その一部を用いて衝突回避手法を構築した。Fig. 3 はその構成であり、2台の自律型移動ロボット (MR-1, MR-2)、大規模環境管理用計算機 (Global Environment Manager: GEM) とヒューマンインタフェース用計算機 (Human Interface System: HI/F) から構成される。移動ロボットは無線通信機能を装備し、GEM は無線通信と有線通信 (Ethernet) を接続するためのゲートウェイの役割も果たす [11]。

2台の移動ロボットは3輪の車輪操舵型移動ロボットである。移動ロボットにはラップトップパソコン (J-3100GL/CPU: 80286/287/12[MHz]) が搭載されており、このパソコンにより走行制御が行われ、さらにパソコンのシリアル・インタフェース (RS-232C) に接続された無線モデムを介して通信することが可能である。通信速度は実効約 2000[bps] である。移動ロボットの構成を Fig. 4 に示す。このロボットは、2軸のサーボモータにより、2輪の駆動輪および1輪の操舵輪を制御し走行する。ロボットには、駆動輪の左右軸に位置検出のためのエンコーダを装備し、外界センサとして、前方に2点および左右側方に各1点ずつの超音波センサ、および近接検出用の光電センサと衝

突検出用のタッチセンサ3点を装備している。

GEM は、静的環境情報 (地図) を管理し、移動ロボットからの要求に応じて、この情報を提供する。HI/F は、人間と移動ロボット間の通信を行うためのシステムであり、具体的には、行動開始の合図や、デッドロックの際の行動指令などを行う。

3.2 実験環境と移動ロボットの制御

本論文では、屋内環境における複数の移動ロボットの自律走行を実現することを前提としており、廊下環境を対象とした衝突回避手法の開発を行った。その実験環境を Fig. 5 に示す。それぞれのロボットは、廊下の中央に設置することとし、ロボットの相対的な座標でゴールを与えることとした。各ロボットのゴールは、ロボットの前方向 7[m] とした。ただし、各ロボットには、互いに他のロボットの走行経路に関する情報は与えないものとした。外界センサに関しては、センサの出力信号の干渉による誤動作を防ぐために、MR-1 は、広域と狭域の二つの領域を検出できる光電センサを、MR-2 は、超音波センサを利用することとした。走行の制御に関しては、MR-1 は、エンコーダによる左右の駆動輪の回転角からデッドレコニングに基づいて走行を行うこととし、MR-2 は、超音波センサによる壁沿い走行によるナビゲーションを行うこととした [12]。各ロボットの走行速度は、7[cm/s] とした。

3.3 動的動作生成戦略に基づく衝突回避手法の構築

移動ロボットは、まず HI/F から、ゴールおよび作業開始が指令されると、GEM から静的環境情報を獲得し [2]、この情報に基づきゴールまでの経路を計画し、移動を開始する。そして、衝突検出を行うと、階層的動作生成戦略に基づき、状況に

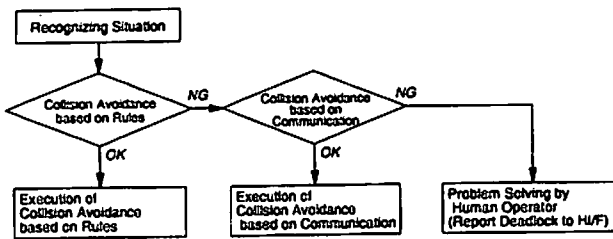


Fig. 6 Processing flow for collision avoidance strategy

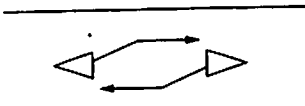


Fig. 7 Rule 1

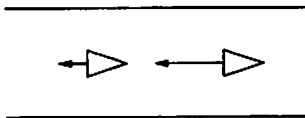


Fig. 8 Rule 2

応じた衝突回避手法を適用する。階層的動作生成戦略において、局所的に適用できる衝突回避手法として仮想インピーダンス法 [3] などの方法が、集中的に適用できる衝突回避手法として Fujimura [4] などの方法が提案されている。そこで本研究では、その間に位置する Fig. 2 の網掛け部分の階層に位置する「ルールに基づく衝突回避手法」および「通信に基づく衝突回避手法」の構築を行った。また、この二つの手法で解決できない場合を考慮し、その場合には、集中的に行う手法で最上位に位置する「ヒューマン・オペレータによる問題解決」を用いることとした。ただし、ヒューマン・オペレータによる問題解決では、通信を用いて HI/F に状況を報告することとした。各手法が、下位の階層から優先的に選択される流れを Fig. 6 に示す。

3.3.1 ルールに基づく衝突回避手法

本実験では、廊下を環境としているため、側方からの衝突を考慮する必要がないので、以下のルールを構築した。

(1) Rule1: 左方回避行動ルール (Fig. 7)

if {相手の位置 = 正面近接 and 相手の速度 = 逆方向 and 回避行動に必要な空間が存在}
then {左側へ回避経路をとる}

(2) Rule2: 一時停止ルール (Fig. 8)

if {相手の位置 = 正面近接 and 相手の速度 = 同方向}
then {一時停止を行う}

これらのルールを適用するに当たっては、MR-1 は、光電センサの広域と狭域の検出の経時的な変化により、前方のロボットの位置および速度を測定し、MR-2 は、超音波センサによる経時的な計測結果により、前方のロボットの位置および速度を測定する。この測定値から、相手の位置および速度の条件を判断できる。

左方回避ルールでは、ロボットに回避動作制御パターンをあらかじめ与えている。この動作制御パターンでは、ロボットの

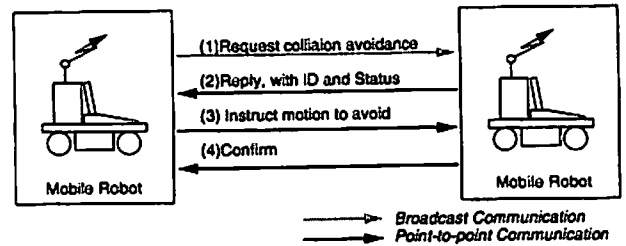


Fig. 9 Communication procedure of negotiation for collision avoidance

向きが左 45[deg] 方向になるように左に操舵輪を切り旋回走行し、その後、向きが再び正面に向くように右に操舵輪を切り旋回走行する。この動作制御パターンで衝突を回避するためには、衝突を検出した位置から、前方 120[cm]、左方 80[cm] の空間が必要となる。この空間は実験的に求めた値である。ロボットは、あらかじめ GEM から環境情報 (地図) を得ているので、その回避領域が存在するか (障害物がないか) を判断できる。

もし、適用できるルールがない場合には、ルールに基づく衝突回避手法を諦め、一つ上の階層に位置する通信に基づく衝突回避手法の適用を試みる。

3.3.2 通信に基づく衝突回避手法

ルールを適用できない状況を設定するために、廊下に障害物を設定することとした。ただし、障害物の位置は、障害物が壁に接触しかつ 2 台のロボット間の任意の位置になるようにした。その環境を Fig. 12 に示す。この障害物の寸法および位置は、各ロボットにあらかじめ与えることとしたので、ロボットはルールを適用できないことを判断することが可能である。

通信に基づく衝突回避手法では、まずロボットは停止し、衝突検出を行ったことを通信し、衝突対象となるロボットの特定 (ロボットの ID の認識) を行う。そして、このロボットといずれが先に回避を行うかを交渉し決定する。

ここでの通信では、交渉するための枠組であるメッセージ・プロトコル・コア (Message Protocol Core) [2] を用いる。この交渉の手順を以下に示す (Fig. 9)。

- (1) 前方のセンサを用いて、衝突を検出したロボットは、衝突の警告をブロードキャストする。
- (2) 本実験では、2 台のロボットのみを用いているので、その警告を受信したロボットは、衝突対象であると判断することが可能となる。そして、そのロボットは停止し、自分の ID と状態 (優先度) を返答する。
- (3) これを受信したロボットは、相手と自分の状況からどちらが先に回避するかを判断し、回避動作の指示を通信する。
- (4) この指示を受信したロボットは、指示の確認を返答する。

本研究では、このような回避動作を決定するために、優先度を定義することとした。移動ロボットは、交渉により互いの優先度を比較し、優先度の高いものが先に通過することとした。優先度は、以下の点を考慮する必要がある。

- (1) 周囲の環境に関する優先度 C_e : 回避動作を行うための空間が存在するかを示す。その空間が障害物によって占有されていると、衝突回避を行えない。したがって、回避が可

Table 1 Priority points concerning environment

Environmental situation	C_e
Avoiding action is not constrained	10
Avoiding action is constrained	0

Table 2 Priority points concerning task requirements

Motion conditions	C_t
Movement in an emergency state	5
Movement without task execution	2
Movement with task execution	0

Table 3 Priority points concerning robot performance

Locomotion type	C_p
Spin type	2
Steering type (with a small turn)	1
Steering type (with a large turn)	0

能な場合の優先度 C_e の値を非常に大きくし、逆に回避が不可能な場合の優先度 C_e の値を非常に小さくすることとした。

- (2) 作業に関する優先度 C_t : 作業内容に対する優先度を示す。本研究では、緊急の作業は優先度 C_t を最も大きくし、そうではない場合には、作業中ではないロボットの優先度 C_t を高めた。これは、作業中のロボットより、作業を行っていないロボットの方が回避動作を行いやすいためである。
- (3) ロボットの動作特性に関する優先度 C_p : この優先度はロボットの動作性の高さを表している。すなわち、動きやすいロボットが衝突回避を行ったほうが、効率的である。したがって動きやすいロボットの優先度 C_p を高くし、そうでないロボットの優先度 C_p を低くした。

本論文では実験的に、優先度 C_e を Table 1, 優先度 C_t を Table 2, そして優先度 C_p を Table 3 のように設定した。これらの優先度は、上記の議論を考慮し、意図的に

$$C_e > C_t > C_p$$

のような重み付けがされている。総合的な優先度 C は、以下の式で与えられるとした。

$$C = C_e + C_t + C_p$$

交渉に失敗し、通信に基づく衝突回避手法が適用できない場合は、その状況を HI/F へ報告する。

3.4 動的動作生成戦略に基づく衝突回避手法の実験

3.4.1 ルールに基づく衝突回避手法の実験結果

ルールに基づく衝突回避手法による実験を行った。この実験結果から得られたロボットの軌跡を Fig. 10 および Fig. 11 に示す。これらの図では、三角形の各頂点はロボットの車輪接点を示しており、MR-1 は白抜き、MR-2 は斜線で表現し、停止は黒塗で表現した。また、ロボットの位置は 5 秒間隔で記録

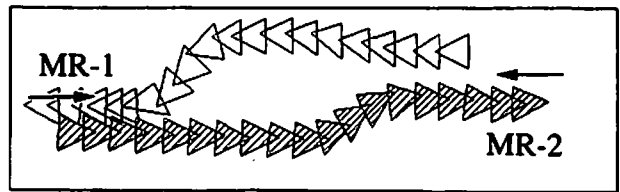


Fig. 10 Experimental result of collision avoidance using rule 1

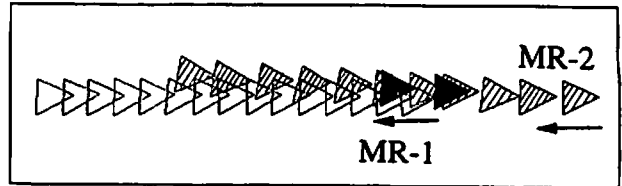


Fig. 11 Experimental result of collision avoidance using rule 2

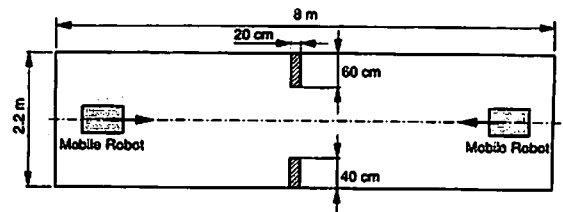


Fig. 12 Experimental environment within obstacles

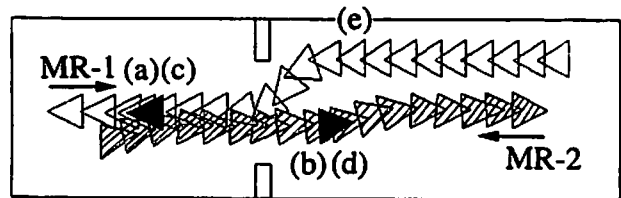


Fig. 13 Experimental result of collision avoidance using negotiation

し、矢印はロボットの進行方向を示している。Fig. 10 では、2 台のロボットが、前方のロボットを互いに検出し、左方回避行動ルールを適用し、相互に衝突を回避している。また、Fig. 11 では、MR-2 が同一方向に走行する MR-1 を検出し、一時停止ルールを適用し、相互に衝突を回避している。

3.4.2 通信に基づく衝突回避手法の実験結果

本実験では、あらかじめロボットの動作特性に関する優先度を、小回りのきく MR-1 は $C_p = 1$ とし、小回りのきかない MR-2 は $C_p = 0$ とし、Fig. 12 に示す状況について、衝突回避実験を行った。なお、両ロボットも作業中ではない（単なる移動中）状態とし、作業に関する優先度を $C_t = 2$ と設定した。その結果の軌跡を Fig. 13, また、この実験より得られた交渉の通信ログ（通信内容の記録）を Fig. 14 に示す。

Fig. 13 および Fig. 14 において、移動ロボットの位置と通信の対応を明確にするため、おのおのに対応するアルファベットを付した。本実験結果では、MR-1 が先に衝突を検出している。

```

-----
To      : ****
From    : MR-1
Control: 13
Class   : CORE
Type    : NEGOTIATION
Message: REQUEST.AVOID
Time    : 15:52:32
-----
To      : MR-1
From    : MR-2
Control: 12
Class   : CORE
Type    : NEGOTIATION
Message: ACCEPT
Time    : 15:52:33
-----
To      : MR-2
From    : MR-1
Control: 13
Class   : CORE
Type    : NEGOTIATION
Message: REQUEST.STOP
Time    : 15:52:33
-----
-----
To      : MR-1
From    : MR-2
Control: 12
Class   : CORE
Type    : NEGOTIATION
Message: ACCEPT
Time    : 15:52:35
-----
To      : MR-2
From    : MR-1
Control: 3
Class   : CORE
Type    : NEGOTIATION
Message: RESTART
Time    : 15:53:15
-----

```

Fig. 14 List of communication (negotiation) Log

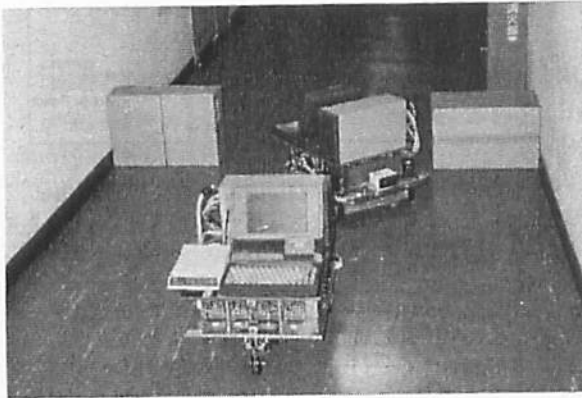


Fig. 15 Photograph of collision avoidance using negotiation

まず、MR-1は停止し、衝突の警告を通信している。通信(a)では、対象のロボットが特定されていないため、通信先(Toフィールド)を(****)としてブロードキャストを行っている。通信(a)により、MR-2は、衝突が生じることを認識すると、MR-1へ衝突回避要求に同意することを通信している(通信(b))。ロボットの優先度はControlフィールドに記述されており、MR-1およびMR-2は、これにより互いに相手の優先度を認識することができる。この実験では、両者とも衝突回避が困難な状況であるため、ともに $C_e = 10$ となる。そのため、MR-1の優先度は $C = 13$ 、およびMR-2の優先度は $C = 12$ となっている。したがって本実験では、MR-1が先に回避動作を行っている。MR-1はMR-2へ停止継続を依頼(通信(c))し、この同意(通信(d))が得られると衝突回避行動を実行する。そして、MR-1は衝突回避動作を実行後、MR-2に移動の再開(通信(e))を指示する。Fig. 15にそのときの衝突回避実験の様子を示す。

以上のことから、通信を用いることによって、ルールで解決できなかった状況に対応して、衝突回避が可能であることが実験によって示された。またここで、優先度として「周囲の環境」

「作業」、「ロボットの動作特性」を考慮することで、状況に応じた回避が可能となったことが明らかとなった。

4. おわりに

本論文では、実際の移動ロボットに効率的に相互衝突回避を行うための階層型動作生成戦略を提案した。そして、この戦略に基づき、ルールおよび通信に基づく衝突回避手法を開発した。さらに2台の移動ロボット上に、本手法に基づく動作アルゴリズムを構築し、衝突回避実験を行った。この実験結果から、ロボットは状況に応じて二つの動作生成手法を使い分けて、衝突回避を実現できることが示された。今後、優先度をいかに定量的に表現するかについてより詳細に検討する予定である。

本論文では、2台のロボットに提案した手法を適用したが、干渉を防止できるセンサを利用することによって、より多くの台数のロボット間衝突回避にも、本戦略を適用することが可能であると考えられる。また、衝突の対象となるロボットの特定に関しても、交渉によって、位置などの情報交換を行うことによって可能になると考えられる。

謝 辞

実験を手伝っていただいた板倉広明氏、内田康幹氏、渡辺健一氏、川上俊昭氏に感謝する。

参 考 文 献

- [1] 浅間 一: "複数の移動ロボットによる協調行動と群知能", 計測と制御, vol.31, no.11, pp.1155-1161, 1992.
- [2] 石田慶樹, 浅間 一, 尾崎功一, 松元明弘, 遠藤 勲: "自律分散型ロボットシステムのための通信機能の設計と通信シミュレータの開発", 日本ロボット学会誌, vol.10, no.4, pp.544-551, 1992.
- [3] T. Arai and J. Ota: "Motion Planning of Multiple Mobile Robots," Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.1761-1768, 1992.
- [4] K. Fujimura: "Route planning for mobile robots amidst moving obstacles," Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.433-438, 1992.
- [5] 坪内孝司, 浪花智英, 有本 卓: "平面を移動する複数の移動障害物とその速度を考慮した移動ロボットのプランニングとナビゲーション", 日本ロボット学会誌, vol.12, no.7, pp.1029-1037, 1994.
- [6] H. Noborio and T. Yoshioka: "On a Deadlock-free Characteristic of the On-line and Decentralized Path-planning for Multiple Automata," Springer-Verlag, Distributed Autonomous Robotic System, H. Asama, T. Fukuda, T. Arai, I. Endo (Eds.), pp.111-122, 1994.
- [7] R.A. Brooks: "A Robust Layered control System For A Mobile Robot," IEEE Journal of Robotics and Automation, vol.RA-2, no.1, pp.14-23, 1986.
- [8] 石川繁樹, 浅香俊一: "移動障害物を含むような動的変化を伴う走行環境における自律移動ロボットの走行誘導方式", 日本ロボット学会誌, vol.11, no.6, pp.856-867, 1993.
- [9] S. Yuta and S. Premvuti: "Cooperating Autonomous and Centralized Decision Making to Achieve Cooperative Behaviors Between Multiple Mobile Robots," Proc. Int. Symp. on Distributed Autonomous Robotic Systems, pp.173-181, 1992.
- [10] 加藤 晋, 西山栄枝, 武野純一: "交通ルールの適用による複数の移動ロボットの協調行動", 日本ロボット学会誌, vol.12, no.2, pp.291-298, 1994.
- [11] Y. Ishida, S. Tomita, H. Asama, K. Ozaki, A. Matsumoto and I. Endo: "Development of an Integrated Communication System for Multiple Robotic Agents," Proc. Int. Symp. on Distributed Autonomous Robotic Systems, pp.193-198, 1992.

[12] 板倉広明, 松元明弘, 石塚弘宣, 浅間 一, 遠藤 勲, 石田慶樹: “自律分散型ロボットシステム ACTRESS の開発研究 (第 6 報) —セン

サ情報に基づく移動ロボットの走行制御—”, 1991 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp.965-966, 1991.



尾崎功一 (Koichi Ozaki)

1967 年 6 月 10 日生。1993 年東洋大学大学院博士前期課程修了。1995 年埼玉大学大学院博士後期課程修了。1995 年理化学研究所化学工学研究室奨励研究員, 1996 年宇都宮大学工学部助手, 現在に至る。自律分散型ロボットシステム, 複数移動ロボットの協調, ロボット間通信などに関する研究に従事。博士 (工学)。日本機械学会, 精密工学会の会員。

(日本ロボット学会学生会員)



石田慶樹 (Yoshiki Ishida)

1961 年 10 月 18 日生。1988 年東京大学大学院工学系研究科精密機械工学修士課程修了。1988 年東京大学工学部助手, 1994 年九州大学大型計算機センター講師, 九州大学総合情報伝達システム運用センターに勤務, 現在に至る。分散ロボットシステムやマルチエージェントシステムにおける協調と通信に関する研究に従事。WIDE プロジェクトに参加, IEEE, Internet Society, 日本ソフトウェア科学会などの会員。

(日本ロボット学会正会員)



遠藤 勲 (Isao Endo)

1940 年 8 月 14 日生。1970 年東京大学工学研究科博士課程修了。理化学研究所化学工学研究室勤務, 現在, 同主任研究員。1989 年より埼玉大学理工学研究科客員教授兼任。生物工学, 特にバイオプロセスエンジニアリングの研究に従事, 1978 年化学工学協会論文賞受賞, 1994 年ヘルシンキ工科大学名誉工学博士, ニューヨーク科学アカデミー, アメリカ化学工学会, 化学工学会などの会員。

(日本ロボット学会正会員)



浅間 一 (Hajime Asama)

1959 年 1 月 18 日生。1984 年東京大学大学院工学系研究科精密機械工学修士課程修了。1986 年理化学研究所化学工学研究室研究員補, 現在研究員。自律分散型ロボットシステム, 複数移動ロボットの協調, 群知能, ロボットの評価, バイオプロセスの知能化技術の開発に従事。工学博士。IEEE, ニューヨーク科学アカデミー, 精密工学会, 日本機械学会, 化学工学会などの会員。

(日本ロボット学会正会員)



松元明弘 (Akihiro Matsumoto)

1958 年 6 月 8 日生。1983 年東京大学大学院工学系研究科精密機械工学修士課程修了。1983 年東京大学工学部助手, 1988 年東洋大学工学部講師, 1990 年同大助教授, 現在に至る。工学博士。1994-1995 年ルイパスツール・ストラスブール第 1 大学 (フランス) 訪問研究員。ロボット言語, 自律分散型ロボットシステムの研究に従事。精密工学会, 日本機械学会, IEEE の会員。

(日本ロボット学会正会員)