

# 複数のロボットによる協調作業のための ADMS の提案

## ADMS for Cooperative Task by Multiple Robots

○ 長井 志江 (青学大) 秋葉 伸太郎 (青学大) 正 富山 健 (青学大)

Yukie NAGAI, Shintaro AKIBA, Ken TOMIYAMA

Aoyama Gakuin University, 16-1, Chitosedai 6-chome, Setagaya-ku, Tokyo

E-Mail : yukie@artemis.me.aoyama.ac.jp

This paper proposes the Autonomous Distributed Management System (ADMS) as a control system for multiple robots. ADMS is a hybrid system that has characteristics of both central management system and autonomous distributed system. ADMS consists of "MetaKB" that manages entire system and "ClientKB" that controls each robot. Validity of ADMS is demonstrated through simulation of cooperative transport tasks.

Key Words : Expert System, G2, Cooperation, ADMS

### 1 緒言及び研究目的

近年各種産業界では、高度・多種多様な作業に対応できる高知能・高機能なロボットが要求されている。しかし、単独のロボットでの作業能力にはおのずと限界がある。そこで、ロボットを複数台用いて作業を行わせようとする考えが生まれ、現在盛んに研究が行われている<sup>[1]</sup>。複数のロボットによる協調作業により、単独のロボットでは不可能な作業を行うことが可能となる。また、作業分担が行えることにより、作業効率の向上が期待できる。さらに、ロボットの故障に対する他のロボットによる補助機能を備えることにより、システムの柔軟性が高まると考えられる。現在複数ロボットの制御の手法として、システム全体を1箇所で行う集中管理型と、各ロボットがそれぞれ自律している自律分散型がある。これら2つの制御方法は相反する長所、短所を持っている。これまでの研究で、藤田らは統合化されたマルチロボット用のシステムの構築<sup>[2]</sup>、太田らは漸進的戦略形成の手法の提案<sup>[3]</sup>、玉らは複数ロボットシステムのビヘービア設計<sup>[4]</sup>を行っている。これらは集中管理型または自律分散型のどちらか一方の制御方法を用いたものである。

そこで本研究では、複数の自律ロボットによる協調作業のための制御システムとして、集中管理型と自律分散型を統合した制御システムである、自律分散管理システム (Autonomous Distributed Management System, 以下 ADMS) を提案する。これにより、作業効率が高く柔軟性も備えたシステムの構築が期待できる。シミュレーションシステム構築の際にはエキスパートシステム構築支援ツール G2<sup>1</sup> を用い、評価実験により ADMS の有効性を検証する。また、評価を行うためのアプリケーションとして、協調搬送作業を行うシステムを構築する。

### 2 制御システム

本章では、まず協調のための制御方法について述べ、次に本研究で提案する制御システム (ADMS) の構成について述べる。

#### 2.1 協調のための制御方法

複数のロボットを協調的に制御する方法として集中管理型と自律分散型の2つがある<sup>[1]</sup>。集中管理型はシステム全体の制御を1箇所で行う方法で、作業効率は高いが、自律分散型に比べて柔軟性に欠け、システムの信頼性は低い。これに対し自律分散型は、作業効率は前者に劣るが、個々のロボットが自律性をもつため柔軟性があり、システムの信頼性が保障される<sup>[1]</sup>。

#### 2.2 ADMS の構成

本研究で提案する ADMS の構成を Fig. 2.1 に示す。このシステムは集中管理型と自律分散型とを統合して両システムの長所を生かしたシステムである。まずエキスパートシステムにおける知識ベース (以下、KB) を、複数の計算機に分散させ

る。KBとして、メタ知識ベース<sup>[5]</sup> (以下、MetaKB) とクライアント知識ベース (以下、CIKB) の2種類を用意する。複数の自律ロボットは各 CIKB に基づき制御され、各 CIKB とシステム全体は MetaKB に基づき制御される。この際、各 CIKB レベルでの通信も可能とする。これにより自律ロボット間の協調作業は CIKB レベルで行えるようになる。以上のような手法により、集中管理型及び自律分散型の長所を生かしたシステムが実現される。また、複数の計算機に KB を分散させることで、個々の計算機の計算量の減少、及び負荷の低減が可能となる。

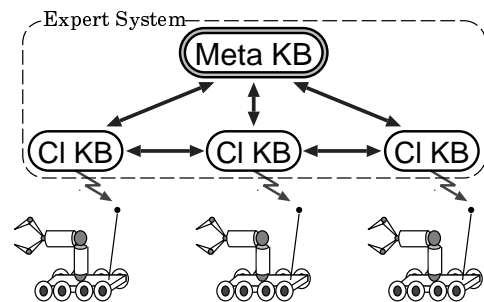


Fig.2.1: Structure of ADMS

### 3 評価実験

本章では、これまで述べてきた ADMS と他の協調制御システムとの比較評価を行うための実験について述べる。

#### 3.1 評価実験 1

評価実験1として、一方通行路手前において、信号の有無によるロボットの移動効率を比較するシミュレーションを考える。本実験で用いる環境は、第4章で述べるアプリケーションを参考にしている。その作業環境を Fig. 3.1 に示す。

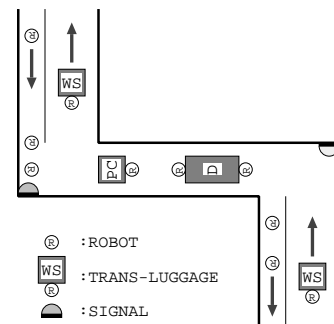


Fig.3.1: Comparative Experiment 1

<sup>1</sup>動的なアプリケーションの実時間処理が可能な、Gensym社製のエキスパートシステム構築支援ツール。

上方からは搬送を終了したロボット (ROBOT)が、下方からは搬送作業中のロボット (TRANS-LUGGAGE)が進行してくる。信号を設置しない場合は、完全な自律分散型 (AUTO)であり、信号を設置した場合は、それを状況に応じて変化させるADMSと時間で変化させる自律分散型 + 時差式信号 (TIME)の2種類がある。ADMSにおける信号は、MetaKBが全体の状況を監視しながら色を変えることになっており、ADMS特有のものである。集中管理型はADMSと全く同じ結果となるのでここでは考えない。評価方法としては2通り考えた。評価方法1は、決められた順番で発生するROBOTとTRANS-LUGGAGE各15台が一方通行路を通過し終るまでの時間を比較する方法である。評価方法2は、一定時間内(300sec.)でROBOTとTRANS-LUGGAGEが一方通行路を通過する台数と、ROBOTが道を譲るためにUターンをした回数とを比較する方法である。それぞれ20回ずつの実験による平均値を、Table 3.1, Table 3.2 に示す。

Table 3.1: Method of evaluation 1-1

	AUTO	ADMS	TIME
Needed time[s]	330	327	364

Table 3.2: Method of evaluation 1-2

	AUTO	ADMS	TIME
ROBOT	14.9	17.65	14.5
TRANS-LUGGAGE	15.55	16.35	13.55
U-TURN	13.05	0	0

実験結果より、自律分散型のときはROBOTのUターン回数が多くなる。自律分散型+時差式信号のときはUターン回数は0回で無駄に動くことなく通過できるが、時差式のため待機時間が増えてしまう。これらに対しADMSは、ROBOTのUターンもなく移動効率もよい。これにより、作業効率の面での自律分散型に対するADMSの有効性が確認できた。

### 3.2 評価実験 2

評価実験2として、ADMS・自律分散型・集中管理型のそれぞれの制御システムに関して、ロボット台数を変化させた場合の1個のタスクに要する知識ベース (KB) の処理時間を比較検討するというシミュレーションを考える。ここでの処理時間とは、ロボットから処理要求が発生してからその応答が返ってくるまでの時間のことである。またKBは同時に複数の処理を行うことは不可能であるとしている。ロボット台数を1台から10台まで変化させ、各台数20回ずつ実験を行ったときのそれぞれの平均処理時間を、Fig. 3.2 に示す。

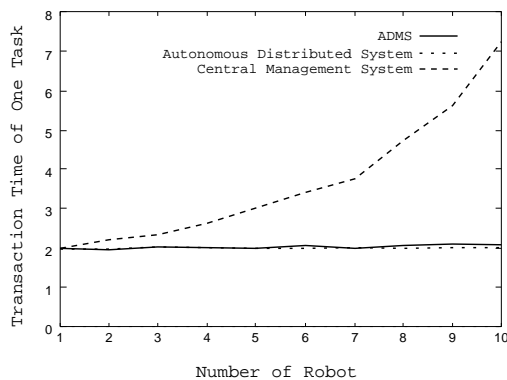


Fig.3.2: Transaction Time

結果より、KBの処理効率に関して自律分散型とADMSはほとんど差がなく、大きく差が開いて集中管理型の順になって

いることが分かる。よって、処理効率の面での集中管理型に対するADMSの有効性が確認できた。

### 3.3 実験のまとめ

評価実験1・2の結果より、本研究で提案するADMSが、集中管理型・自律分散型に比べてそれぞれ処理効率・作業効率といった点で有効であることが確認できた。

## 4 アプリケーション

協調制御システムを適用して比較評価するためのアプリケーションとして、室内における移動ロボットによる搬送作業シミュレータを作成した。その作業環境をFig. 4.1に示す。

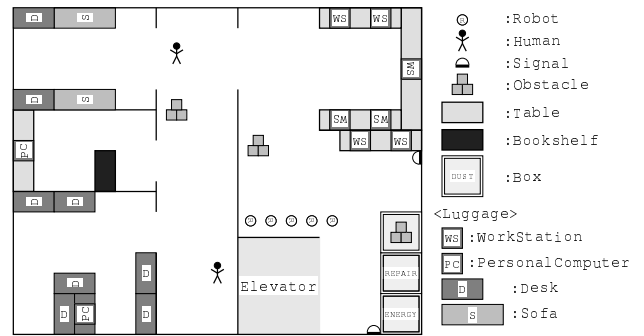


Fig.4.1: Workspace for Simulation

システムの流れとしては、まずエレベータから搬送対象物がランダムに発生する。移動ロボットはそれぞれの搬送対象物の大きさに応じた把持方法で、決められた位置に搬送する。移動ロボットの行動の規範としては「交通ルール」<sup>[6]</sup>を参考にし、ロボットは右側通行、一時停止等を行う。さらにロボット同士の衝突やデッドロックを防ぐために、エレベータ付近に2箇所信号を設置している。移動ロボットはそれぞれエネルギー量が定められており、不足すると自動的にエネルギーを補給に行く。また通路では人間が動的障害物として歩行しているほか、突発的に障害物が発生する。その他作業中のロボットの故障、必要外の搬送対象物の発生等、現実に起こりうる事態を考慮に入れたシステムである。現在このシミュレータには、ADMSがインプリメントされている。

## 5 総括及び今後の課題

本稿では、複数の自律ロボットによる協調作業のための制御システムである、ADMSを提案した。これまでに、シミュレーションによる評価実験によってADMSの有効性を確認した。また、ADMSに基づき協調搬送作業を行うシステムを構築した。今後は他の協調制御システムをアプリケーションとして作成したシミュレータに適用し、比較評価をしていくほか、構築したシステムの実用性を確認するために、実機への応用を試みる予定である。

## 参考文献

- [1] 長田正, 他. 自律分散をめざすロボットシステム. オーム社, 1995.
- [2] 藤田豊己, 木村浩. 第11回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 93-96, 1993.
- [3] 太田順, 横川洋一, 新井民夫. 日本ロボット学会誌, Vol. 14, No. 3, pp. 379-385, 1996.
- [4] 王志東, 中野栄二, 松川卓二. 第1回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp. 353-358, 1996.
- [5] 石塚満, 小林重信, 薦田憲久, 他. エキスパートシステム. 丸善株式会社, 1991.
- [6] 加藤晋, 他. 日本ロボット学会誌, Vol. 12, No. 2, pp. 291-298, 1994.