

# 論文内容要旨 (和文)

平成15年度入学 大学院博士後期課程 システム情報工学専攻 知能機械システム講座

学生番号 03522301

氏名 荒井 順平



(英文の場合は、その和訳を ( ) を付して併記すること。)

論文題目 自律分散型ロボット間通信のためのMACプロトコルに関する研究

近年の急速な少子高齢化と技術の進歩により、生産技術としてのロボット技術が、介護や福祉また建築現場など非製造業分野への応用も進んでいる。また原子力施設のメンテナンス、都市災害時のレスキュー、地雷探知・撤去などへの対応も急務となっている。

このようにロボットへの作業要求は高度で多様化しており、従来のような単独型ロボットですべての作業を達成することは困難になりつつある。そこで近年、複数台の自律移動ロボットを協調させ高度で複雑な作業を効率よく行わせる、自律分散型ロボットシステムが注目されている。正確な協調作業を実現するために、ロボット間の意思疎通を図るための効率の良い情報交換の仕組み、つまり通信プロトコルが必要不可欠となる。各ロボットからの送信データが衝突しないためには、通信の多重アクセスを制御するMAC(Medium Access Control; メディアアクセス制御)プロトコルが必要となる。

自律分散型ロボット間通信に適したMACプロトコルとして重要なことは、ロボット同士が即座に情報交換を行い、全体が行おうとしている協調動作にいかにか早く自己の動作を合わせられるかという実時間性、故障等によりロボットの入れ替え処理が生じた場合、いかにかスムーズに入れ替え処理が行えるかという柔軟性、ロボット間通信の packets が衝突しない、あるいは衝突しても即座に再送信できる機能を備えていることである。しかし、このような実時間性と柔軟性を満たす自律分散型ロボット間通信に適したMACプロトコルは現在のところ開発されていない。

本論文の目的は、複数台の自律移動ロボットによる協調搬送作業を想定し、実時間性・適応性を考慮した自律分散型ロボット間通信のためのMACプロトコルを考案し、その性能をシミュレーションを用いて解析し、他のプロトコルと比較することにより、本プロトコルの位置づけを明確にすることである。

本論文は6つの章から構成されている。以下にその概要を示す。

第1章は序論であり、本研究の背景および目的、研究方針について述べている。

第2章は自律分散型ロボットシステムの概要について述べている。まず、ロボットシステムを自律分散的な観点から概観している。次に自律分散型ロボットシステムの行動形態、通信形態、通信方式などについて述べている。

第3章は関連研究について述べている。まず、既存の移動体通信のMACプロトコルについて概説し、それぞれの問題点を述べている。次にロボット間通信のためのMACプロトコルの関連研究について述べている。はじめにスケジュール型のMACプロトコルとして、TDMA方式、トークンリング方式を基本としたプロトコルについて述べている。続いてランダムアクセス型のMACプロトコルとして、C

SMA方式を基本としたプロトコルについて述べている。さらにスケジュール型のCDMA方式とランダムアクセス型のCSMA方式を組み合わせたプロトコルについても述べている。そして、これらの従来方式がどの程度ロボット間MACプロトコルに適しているかの比較を行い、第4章以降で述べる提案方式と比較する際の指標を明らかにしている。

第4章は提案方式について述べている。従来方式の問題点を解決したロボット間通信MACプロトコル、AR-TDMA(Adaptive Reservation-Time Division Multiple Access; 適応予約型TDMA)方式を提案し、その特長、通信機構などについて述べている。

第5章では性能評価について述べている。シミュレーションによる性能評価により、提案方式が従来方式に比べ通信遅延特性、スケーラビリティ特性、運搬時間特性に優れていることを述べている。具体的には、通信遅延特性においては、障害物回避等により特定のロボットだけ頻繁に通信しなければならないような送信頻度にばらつきがある通信環境において、従来方式より優れることを示している。スケーラビリティ特性においては、ロボット数が増加しても通信遅延の増加量が小さいことを示している。運搬時間特性においては、複数台のロボットが障害物を回避しながら協調搬送を行う時、提案方式がロボットの最大移動速度に近い速度で運搬が行える実時間性を有することを示している。

第6章は結論である。本研究で得られた成果を集約して述べている。さらに提案方式を実装した場合の問題点、今後の研究すべき方向などについても言及している。

(10pt 2,000 字程度 2 頁以内)

## 論文内容要旨 (英文)

平成15年度入学 大学院博士後期課程 システム情報工学専攻 知能機械システム講座

学生番号 03522301

氏名 荒井 順平



論文題目 A Research of Medium Access Control Protocol for Robot Communication in Autonomous Distributed Systems

In recent years, with progress of technology and rapidly decreasing of the birthrate, it is necessary to develop industrial robots in order to deal with many tasks in plants and production systems. The robots can be used also in other fields such medical-care, welfare and construction. Moreover, there are some tasks such as the maintenance of atomic facilities, rescue of disaster in the city, removal of land mine and so on that humans can not deal with, but the robots can have wide applications

However, it is very difficult to carry out all tasks by single robots. Therefore, the cooperation between robots is necessary. Presently, some research works deal with the autonomous distributed robot systems. In these systems, many autonomous mobile robots cooperate together to carry out complicated tasks. Communication among robots is very important for exact cooperation actions. For real-time communication, it is necessary to develop efficient Media Access Control (MAC) protocol.

In this thesis, we propose an Adaptive Reservation-Time Division Multiple Access (AR-TDMA) medium access control protocol which can realize a real-time communication among robots in a heterogeneous environment by using a reservation mechanism. Also, by using an adaptive time slot allocation method, the protocol has a flexible behavior and can deal with the change of number of robots. Furthermore, the proposed protocol can reduce the packet collision probability.

This thesis is organized as follows. In Section 1, we will describe background and research purpose. In Section 2, we will describe autonomous distributed robot systems. In Section 3, we will discuss the previous work. In Section 4, we present the proposed method. In Section 5, we give some considerations and compare the proposed method with a conventional method. Finally, some conclusions and future work are given in Section 6.

# 学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成18年2月10日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 ..... 小山 明 夫 .....

副査 ..... 横 山 晶 一 .....

副査 ..... 田 村 安 孝 .....

副査 ..... 平 中 幸 雄 .....



学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

## 記

### 1. 論文申請者

専攻名 ..... システム情報工学 ..... 専攻  
氏 名 ..... 荒 井 順 平 .....

### 2. 論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記すること。)

..... 自律分散型ロボット間通信のための MAC プロトコルに関する研究 .....

### 3. 学位論文公聴会

開催日 ..... 平成18年1月31日 .....  
場 所 ..... 工学部7号館320号室 (I教室) .....

### 4. 審査年月日

論文審査 ..... 平成18年1月25日 ~ 平成18年1月31日 .....  
最終試験 ..... 平成18年2月1日 ~ 平成18年2月3日 .....

### 5. 学位論文の審査及び最終試験の結果 (「合格」・「不合格」で記入すること。)

(1) 学位論文審査 ..... 合格 .....  
(2) 最終試験 ..... 合格 .....

### 6. 学位論文の審査結果の要旨 (1,200字程度)

別紙のとおり

### 7. 最終試験の結果の要旨

別紙のとおり

## 別紙

専攻名	システム情報工学専攻	氏名	荒井順平
学位論文の審査結果の要旨			
<p>自律分散型ロボットシステムは複数台で協調動作を行うことにより、単独型ロボットでは困難な高度で複雑なタスク、例えば原子力施設のメンテナンス、都市災害時のレスキュー、地雷探知・撤去などを実行することが可能となる。このような協調動作を実行するためにはロボット間通信が不可欠となるわけだが、現在ロボット間通信の研究はあまり行なわれていないのが現状である。そこで本論文では、複数台の自律移動ロボットによる協調搬送作業を想定し、実時間性・適応性を考慮した新しいメディアアクセス制御プロトコルAR-TDMA方式を提案し、その有効性をシミュレーションによる性能評価で検証したものである。</p> <p>論文は6章から構成されている。</p> <p>第1章では研究の背景、目的、研究方針および論文の内容について概説している。</p> <p>第2章では、ロボットシステムを自律分散的な観点から概観した後に自律分散型ロボットシステムの分類について述べている。さらに自律分散型ロボットシステムのセンシング、通信、行動形態といった要素技術について述べ、最後に自律分散型ロボットシステムの解決しなければならない問題点について述べている。</p> <p>第3章では、関連研究として、既存の移動体通信のMACプロトコルについて概説し、それぞれの問題点を述べた後にロボット間通信のためのMACプロトコルの関連研究である、TDMA方式、トークンリング方式、CSMA方式、さらにCDMA方式とCSMA方式を組み合わせたプロトコル、TDMA/TP方式についても述べ、これらの従来方式がどの程度ロボット間MACプロトコルに適しているかについての比較を行い、第4章以降で述べる提案方式と比較する際の指標を明らかにしている。</p> <p>第4章では、従来方式の問題点を解決したロボット間MACプロトコル、AR-TDMA方式を提案している。AR-TDMA方式は予約機構を持たせることにより送信頻度にばらつきがある通信環境で従来方式より小さな遅延を持ち、動的なタイムスロット割り当て方式によりロボット数の変化に柔軟に適應でき、さらにロボットのバッテリー残量を指標にしたタイムスロット割り当て方式により、パケットの衝突を従来方式より軽減することを説明している。また、AR-TDMA方式の応用や高速化についても述べている。</p> <p>第5章では、シミュレーションによる性能評価により、提案方式が従来方式に比べ通信遅延特性、スケーラビリティ特性、新規参入待ち時間特性、運搬時間特性に優れていることを示している。</p> <p>第6章は結論であり、本研究で得られた成果を集約して述べている。さらに提案方式を実装した場合の問題点、今後の研究すべき方向などについて展望している。</p> <p>以上のように、本論文では、自律分散型ロボットのための新規性を持つ通信プロトコルを提案し、その有効性を様々な観点から評価したものである。本論文は工学的に十分寄与するものであり、博士学位論文に値するものと認められるので合格と判定した。</p> <p>なお、これらの研究成果は、既に2編の筆頭学術論文(内1篇は推薦論文)、3編の筆頭国際会議論文などとして採択され、刊行または刊行予定となっている。</p>			
最終試験の結果の要旨			
<p>博士論文公聴会における質疑応答および個別面接諮問により、研究の計画性、進め方、関連知識、理解力を十分に備えていると認められた。さらに3度の国際会議での発表と英文の学術論文の執筆を通して、コミュニケーション能力や執筆力などの語学能力も十分兼ね備えていると認められた。以上の理由により合格と判定した。</p>			