

# 移動体の状況に応じた停止精度向上のための 異種センサ自律選択技術

○吉村 圭一、ハフィズ・ファハル・ディン・バティ、森 欣司  
東京工業大学

概要：近年、LSI技術の進歩により、小型・高性能なマイクロプロセッサが安価に供給されてきている。このため、センサやアクチュエータといったデバイスにインテリジェンスを持たせることができるようになり、多数のインテリジェンスデバイスをネットワークに広域に接続するシステムが構築されつつある。本論文では、そのような移動体制御システムにおけるリアルタイム性の実現と性能の向上を目的とし、性質の異なるセンサやアクチュエータなどの異種のデバイスが相互に自律的に連携、協調を図ることでアクチュエータやセンサが状況に応じて、データの送信を抑制することで、オンライン拡張性やフォールトトレランス性を実現させる自律選択技術を提案する。

Autonomous Selective and Cooperative Techniques  
Among the Heterogeneous Sensors and Actuators  
○Keiichi Yoshimura, Hafiz Fukhar-ud-dim Bhatti, Kinji Mori  
Tokyo Institute of Technology

*Abstract*: Recent days, because of the progress of LSI technologies, we can use small sized and high performed micro processors at a low price. So, near the future, all device will have an intelligence in it, even small sensors and actuators. This paper shows the autonomous selection and cooperative techniques among the heterogeneous sensors and actuators based on the Autonomous Decentralized System architecture. With this idea, the control system will have a capability of achieving the various needs that is dynamically changing.

## 1. はじめに

近年、製造業の分野においては、消費者ニーズの多様化により、従来の多種少量生産システムか

ら、変種変量生産システムに移り変わっている。また、社会や経済状況の変化により、システムの拡張や、性質の異なるシステムの統合などが頻繁に行わるようになってきた。しかし集中型制御システムでは、拡張や統合などシステムの変化に柔

軟に対応できず、またマスタのダウンがシステムのダウンとなるため、信頼性も得られない。そのため制御システムは集中型から、柔軟性があり信頼性の高い分散型制御システムに移り変わりつつある。さらに、近年の LSI 技術の発達により、高性能なマイクロプロセッサが低価格で供給され、センサやアクチュエータといったデバイスにインテリジェンスを持たせることが可能となってきた。そこで、インテリジェンスを持ったデバイスを大量かつ広域にネットワークに接続するデバイスレベルの分散型制御システムが構築されつつある。

そのようなシステムにおいてセンサの役割は複雑化してきており、高性能センサのニーズが高まっている。しかしそのようなセンサの実現には、デバイス自体の改良には高いコストがかかってしまう。しかし、デバイスレベルのネットワークシステムでは、それぞれのセンサの特性を生かしながら、センサやアクチュエータといった異種なデバイス間での連携や協調をとることにより、低価格で高性能を得ることができる。

本論文では移動体制御システムにおけるリアルタイム性の実現と性能の向上を目的とし、センサ、アクチュエータといった異種のデバイスが、移動体の変化する状況に対応するためお互いに連携、協調を取り、各デバイスが集めた情報からデータの送信、抑制などを自律的に判断、選択する、自律選択技術を提案する。

## 2. ニーズと問題点

### 2.1 アプリケーションニーズ

本論文におけるアプリケーションモデルとして、図1で示す形態を取る生産ラインをモデルとする。

位置測定センサのデータにより、アクチュエータがベルトコンベアを制御し、対象を目標位置まで運ぶ。各生産工程における時間短縮の必要性から、短時間高精度な停止制御を実現することを目

的とする。そのとき位置測定センサは高性能であることが望ましいが、前項で述べたように、センサの改良には多大なコストがかかってしまうので、図に示すような回転角度により位置を測定する高応答だが低応答なセンサA、レーザーの反射時間によって位置を測定する高精度だが低応答なセンサBという性質の異なる2つのセンサで測定していく。また、生産システムではシステムの稼働停止が致命的なダメージになりかねないので、システムは稼働し続ける必要がある。このように、アプリケーションのニーズとして、制御時間短縮と、稼働の継続が求められる。

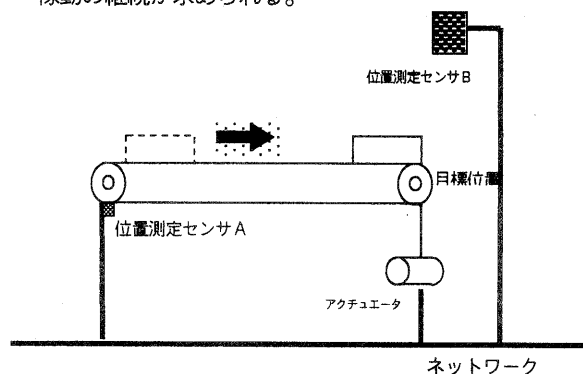


図1：アプリケーションモデル

### 2.2 システムニーズ

システムモデルとして、各デバイスが直接ネットワークに接続されている、デバイスレベルのネットワークシステムを考える。ここで、アプリケーションニーズである制御時間短縮による生産効率アップのため、システムとしてリアルタイム性が求められる。また、デバイスの追加や、一部デバイスのダウンがシステム全体の停止を引き起こしてはならず、オンライン拡張性、フォールトトレランス性が求められる。

### 2.3 問題点

本論文でのシステムモデルであるデバイスレベ

ルのネットワークにおいては、デバイスの量はきわめて多くなる。そのように大量のデバイスがネットワークに直接つながっている状況では、ネットワークトラフィックの増大は重要な問題となる。すなわち、ネットワークが混雑してしまうと、センサが位置データを測定しても、送出不可能、または送出してもアクチュエータに届くまでに遅延が生じる、といったことが起こり、アクチュエータが対象を制御することができず、リアルタイム性を実現できない。また、性能の向上のためにセンサを追加しても、その際にネットワーク負荷が増大したり、既に稼働している他のセンサを妨害したりする可能性がある。また、センサがダウンすると、ダウンしたセンサのデータが流れないので、アクチュエータは対象の制御が行えず、システムが停止してしまう可能性がある。

このようにネットワークトラフィックの混雑による制御効率の低下、センサのダウンによるシステムの停止が大きな問題となる。

また、多量のデバイスが接続されたシステムでは、状況の変化に応じて、使用するセンサやアクチュエータを変更したり、本来他の目的で使用されていたセンサを、一時的に別の目的で使用したりすることが稼働中であっても求められてくる。このような各デバイスの役割が固定的に決まっているのではなく、状況の変化に応じてデバイスレベルで柔軟に対処できるようなシステムが必要である。

### 3. システムモデル

前項に上げた状況の変化に応じて柔軟に対処できるシステムとして、自律分散システムアーキテクチャが提案されており、本論文では、自律分散システムアーキテクチャを用いて問題を解決する。

図2に示す自律分散システムアーキテクチャは、オンライン拡張性、フォールトトレランス性、オンライン保守性に優れたシステムである。自律分散システムでは各サブシステムがデータフィールド (DF) と呼ばれるネットワークを介して接続される。サブシステムが発信する全ての情報はその内容を表す内容コード (Content Co

de : CC) を付加されて送り出され、データフィールドを介して全てのサブシステムにブロードキャストされる。各サブシステムには、ACP (Autonomous Control Processor) と呼ばれるシステムソフトウェアが搭載される。サブシステム上で動作するアプリケーションプログラムは、必要とするデータのCCをACPに登録する。ACPは登録されたCCを持つメッセージが届くと、アプリケーションプログラムを起動させる。

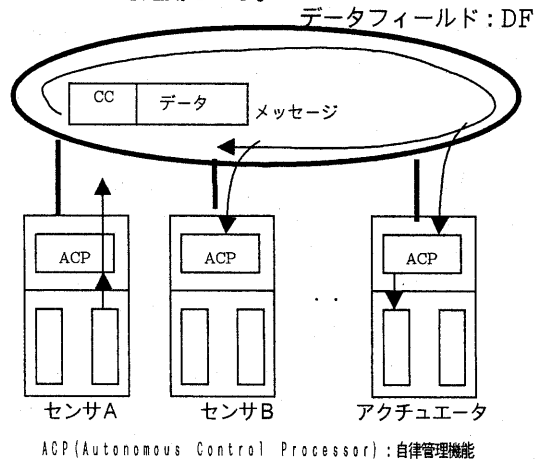


図2: 自律分散システムアーキテクチャ (データフィールドアーキテクチャ)

## 4. 自律協調技術

ここでは、対象の位置、速度などの動的に変化する状況に柔軟に対応し、オンライン拡張性やフォールトトレランス性を実現するために、センサやアクチュエータ間で情報交換や、お互いの状況を監視する自律協調技術について述べる。そしてこの技術によってオンライン拡張性とフォールトトレランス性が実現されることを示す。

### 4.1 自律協調技術

各センサ、アクチュエータはセンシングや制御をする際、対象の位置、速度の状況やネットワーク負荷の状態などを考慮する必要がある。また、

それらの状況、状態は常に変化しており、集中管理システムのように特定のデバイスが他のデバイスを管理している状態では状況の変化に柔軟に対処することができない。そこで各センサ、アクチュエータは自律性を持ち、図3に示すようにアクチュエータは自律的にセンサのデータを集め、そのデータ内の精度、応答性を情報として得ることで制御対象の状況を把握する。またセンサは、自律的に他のセンサから情報を取り込み、精度、応答性を得ることで接続されているセンサの特性を把握する。またアクチュエータからの速度データを受信し、制御対象の現在の位置、速度状況を把握する。

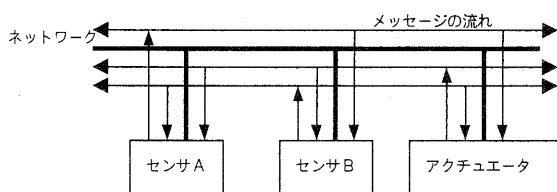


図3：各センサ、アクチュエータ間での連携

アクチュエータが状況に応じた速度制御を行いまた、センサが他のセンサの状況を把握するために、各センサは送信するデータとともに、精度、応答性などをプロパティとして付加する。これによりアクチュエータや他のセンサは、データを送出したセンサの特性を把握する。またアクチュエータも対象の速度データを流し、センサがそのデータを受け取りお互いに協調をとることで、制御対象の状況の変化を把握する。

本論文での精度は、分解能の意味に限定し、測定誤差は考えないものとする。例えば精度1のセンサのデータが20ならば、測定値dは  $19.5 \leq d \leq 20.5$  であることを示している。また、応答性はアクチュエータがデータを受信するまでの時間とし、ネットワーク負荷による遅延はないものとする。また、データは十分信頼できるものと仮定する。

以上をもとに、センサが送出するメッセージのフォーマットは図4に示す構造をとる[2]。

CC	R	A	Data
----	---	---	------

CC:内容コード(Content Code)

R : 応答性 (Response)

A : 精度 (Accuracy)

図4：センサが送出するメッセージフォーマット

これらにより、センサやアクチュエータは、他のセンサのデータを受け取り、そのセンサの精度や応答性といった特性を把握することで、制御対象の状態を把握したり、他のセンサ、アクチュエータの状況を監視できる。

## 4.2 オンラインプロパティ

大規模な生産システムにおいては多量のデバイスが接続、利用されており、センサの切り替えや追加が頻繁に起こる。その際、システムの停止は致命的なダメージになりかねないので、一つのデバイスの追加や変更がシステム全体の停止を引き起こしてはならない。また、デバイス数が多いということはそれだけ故障も起こりやすくなるので、一部のデバイスのダウンがシステム全体のダウンを引き起こしてはならない。

### 4.2.1 オンライン拡張技術

図5に示すように性質の異なるセンサA, Bで自律的に協調をとり、対象を測定しているシステムに、新たにセンサCが接続された状況を考える。このとき、センサCの特性を各センサ、アクチュエータが知るため、センサCは自分の特性を付加したデータをDFに流す必要がある。

しかしセンサCがそのデータを流すことでネットワーク負荷が増し、センサA, Bの測定やアクチュエータの制御を妨げることがあってはならない。そこで、センサCは接続されたらしばらく待機し、DFに流れているデータを見ることで、測定センサの周期を把握する。それによって、セン

センサCはネットワークが空いているタイミングを自律的に判断し、その時に自分の特性を付加したデータをブロードキャストすることで各デバイスに自分の接続を通知する。

センサA, BはセンサCのデータを取り込むと、自律的に相互に協調を取り合うことで、追加によってネットワーク負荷が増えないようにする。これによって、センサが追加されても各デバイスは自律的にそれを認識し、お互いに連携、協調することでシステムを停止させることなく、追加が行われる。

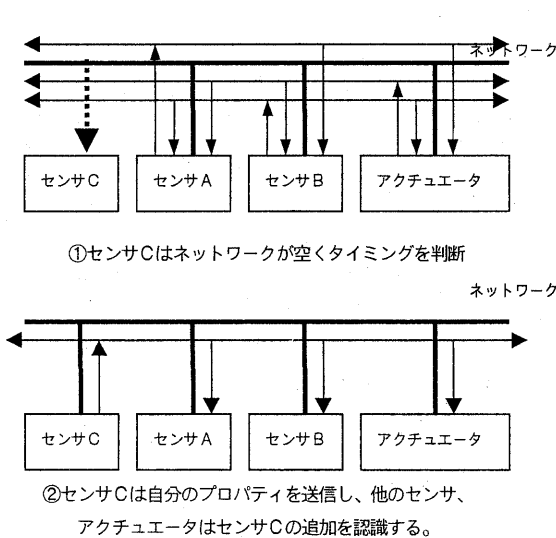


図5：センサの追加

#### 4. 2. 2 フォールトトレランス技術

図6に示すように、性質の異なるセンサA, B, Cで自律的に協調を取り、対象を測定していたときに、センサBがダウン状態を考える。

まず、前節までの自律協調技術により、各センサがデータを送信する状況をそれぞれ把握している。そこでセンサBがダウンした場合、対象がセンサBのデータの送信を行う状況にあっても、セ

ンサBはダウンしているので、データが流れないことになる。各デバイスは自律的にDFを監視しているため、ある一定時間測定データが流れなかったら、その状況で送信を行うセンサのダウンと判断できる。そしてセンサ同士自律的に連携を取り合うことで、ダウンせず残っているセンサで、測定を行う。これにより、センサがダウンしたとしても、残りのセンサがお互い自律的に連携、協調をとることで、システムを停止させることなく、測定をつづけていくことができ、フォールトトレランス性が実現できる。

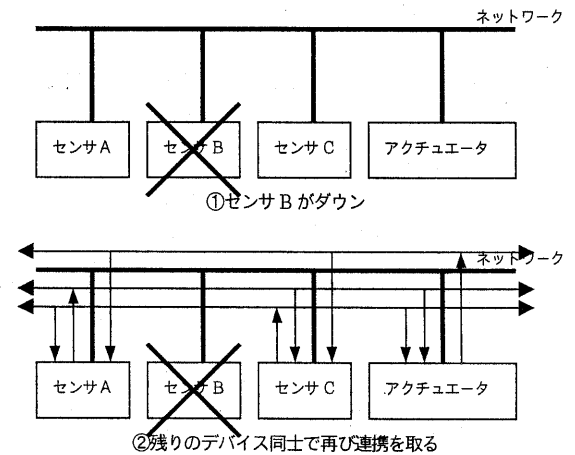


図6：センサのダウン

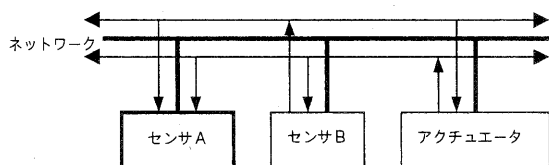
### 5. 自律選択技術

4. 1に示した自律協調技術により、各センサ、アクチュエータは、互いに連携、協調をとることで、デバイス同士や制御対象の状況の変化を把握できる。ここでは、各デバイスが状況の変化を把握することで、ネットワークの負荷を増大させないために状況に応じて自律的に自分のデータの送信、抑制を選択する自律選択技術について述べる。

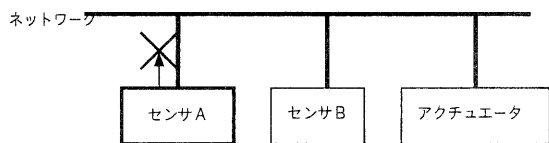
アクチュエータはセンサがネットワークに送出

したデータを取り込むと、そのプロパティから、データを送信したセンサの精度、応答性がわかるので、目標位置からの距離を把握できる。これらのデータを用いることで、その時点に適した速度制御をすることができる。また、センサのダウンなどにより、ある一定時間以上位置測定データを受信できなかった場合には、アクチュエータは自律的に減速、停止など、状況に応じた動作を選択する。

図7に示すように各センサは自律的にネットワークに流れる他のセンサのデータを取り込み、そのプロパティから、目標位置までの距離を把握する。また、アクチュエータがそれに基づいた制御速度をネットワークに流すと、各センサはそれを自律的に取り込むことで制御対象の位置、速度状況の変化を把握する。それによって、現在の状況に適したセンサが自律的にデータを送出、他のセンサは自律的に送出手を抑制するという選択をする。この自律選択技術によりネットワーク負荷を低減しお互いに妨害し合うことなく、動作することができる。



①センサAは、他センサ、アクチュエータの情報を集め状況を把握



②センサAは自センサのデータが不要と判断したら送信を抑制

図4：各センサ、アクチュエータ間での連携

## 6. まとめ

本論文では、移動体制御システムにおけるオンライン拡張性やフォールトトレランス性の実現のために、動的に変化する状況に応じて性質の異なるデバイス同士が自律的に連携・協調をとる自律協調技術。また、リアルタイム性の実現のために動的に変化する状況に応じて自らの動作の変化やデータを送信、抑制を選択する自律選択技術を提案した。

また、センサの追加時や、ダウン時についても、システムを稼働しつづけることが可能であることを示し、本論文での技術の有効性を示した。

## 7. あとがき

本論文では、オンライン拡張や、フォールトトレランスについては、センサについてのみ考えたが、実際にはアクチュエータを複数用いて、加速度や速度を増すことで、より短時間での制御を実現することも考えられる。また、ネットワーク負荷は今回は定常であると仮定したが、実際には動的に変化しており、そのときに起こるデータの遅延などに対するデバイスの動作などが、今後の研究課題として挙げられる。

## 参考文献

- [1] K.Mori, et. al, "Autonomous Software Structure and its Application", IEEE Fall Joint Conference, IEEE, 1056-1063 Dallas, 1986
- [2] 森 欣司, "自律分散システムにおけるフォールトトレランス性の実現", 信学技報, 63-70, 1997
- [3] グェン ミン チャウ "異種センサ/コントローラの自律的な補正/共生技術の研究", 東京工業大学修士論文, 2000-1