

インテリジェントシステム領域

大阪大学大学院工学研究科
電気電子情報工学専攻 教授

高 井 重 昌

1. はじめに

本研究室の歴史は、大阪大学工学部創始百年史によりますと、1933年大阪帝国大学工学部発足と同時に設置された電気工学科第二講座まで遡ることができます。このような長い歴史を誇る研究室を、私が2009年4月より担当することになりました。本研究室では従来より、制御工学に関連する分野の研究が行われてきました。そして、現在もこの流れを引き継ぎ、主にシステム制御に関する教育・研究を担当しています。私の着任直後より、宮本俊幸准教授と2名の教員で研究室を運営してきましたが、2012年4月に林直樹助教が着任し、教員3名の体制が整いました。学生に関しては、私の着任と同時に学部4年生として研究室配属された学生のうち、博士後期課程に進学した1名を除いて、この2012年3月に博士前期課程を修了し、社会人として巣立って行きました。また同じく2012年3月に、私の着任後はじめての博士後期課程修了者を出すことができました。現在は、大学院博士後期課程学生が2名、博士前期課程学生が12名、学部学生が6名で計20名の学生が本研究室に所属しています。

現在、本研究室で実施している研究テーマは

- ・離散事象システムの制御、診断および分散ソフトウェアのモデル化への応用
- ・マルチエージェントシステムの制御および分散エネルギー管理システムへの応用
- ・マルチカーエレベータの群管理アルゴリズムの開発などです。本研究室では、対象とするシステムをモデルにより数学的に表現し、そのモデルに基づき解析、制御、最適化の手法を開発する数理的アプローチを大切にしています。学生には、このような数理的なアプローチによる研究を行うことにより、論理的な思考能力、問題解決能力を養ってほしいと考えています。

以下本稿では、上述した研究の概要を紹介します。

2. 離散事象システムに関する研究

離散事象システムは、事象の生起により、その状態

が離散的に遷移するような事象駆動型システムの総称であり、通信システム、データベースシステム、生産システム、シーケンス制御システムなどは離散事象システムとしての側面をもったシステムとみなせます。本研究室では、このような離散事象システムを対象に、その制御、診断および分散ソフトウェアのモデル化への応用などの研究を行っています。

2.1 離散事象システムの制御

現在では、多くのシステムにおいて電子制御システムが採用され、しかもネットワーク化されています。コンピュータ化が進んだ自動車はその典型例と言えます。このように、制御システムは今や情報システムとしての側面を持つようになっています。コンピュータを中心とした情報システムにおいては、従来の制御工学の分野では取り扱われていなかった、デッドロック回避制御、排他制御、並行処理制御といった制御問題が存在します。離散事象システムの枠組みにおいて、このような情報システムにおける制御問題を取り扱うことができます。

離散事象システムはその離散的な状態遷移構造に着目してモデル化されます。離散事象システムモデルの代表例として、図1に示すようなオートマトン、ペトリネットが挙げられます。本研究室では、上述した情報システムにおける制御問題に対する理論構築を目的に、システムで生起する事象の順序に注目したスーパーバイザ制御に関する研究を行っています。スーパーバイザ制御では、制御対象のシステムと望ましい動作を記述した制御仕様の離散事象システムモデルが与えら

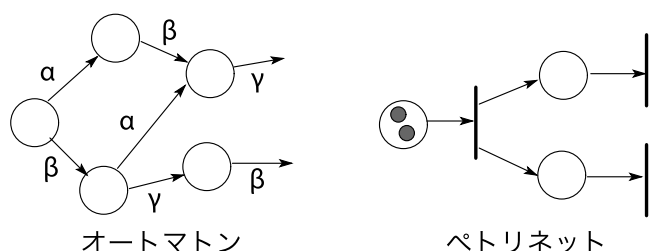


図1 離散事象システムモデルの例

れるとし、制御された対象システムの振舞いが制御仕様とある意味で等価となるような、スーパーバイザと呼ばれるコントローラを構成することが制御問題となります。スーパーバイザ制御の概念図を図2に示します。特に本研究室では、ネットワーク化システムに適した、複数のローカルスーパーバイザによる分散スーパーバイザ制御の研究に積極的に取り組んでいます。

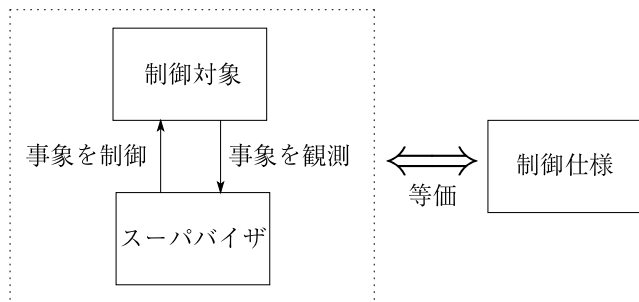


図2 スーパーバイザ制御の概念図

2.2 離散事象システムの診断

大規模プラントや輸送機器などは、その故障や不具合が人々の安全を脅かすことになりかねないセーフティクリティカルなシステムの代表例です。このようなシステムにおいては、最適・高効率といった従来からの要求に加え、安全・高信頼がより重要なファクタとなっています。そこで、システム制御の分野においても、故障診断、フォールトトレラント制御に関する研究が行われています。

本研究室では、事象駆動型システムへの応用を目的に、離散事象システムの診断の研究を行っています。診断対象のシステムとその正常動作を記述した離散事象システムモデルが与えられるとし、対象システムにおける事象の生起の部分的な観測のもとで、正常でない動作が発生した場合には、それを有限ステップ内で正しく検出するようなモデルベースの診断問題に取り組んでいます。そのような診断問題の概念図を図3に示します。

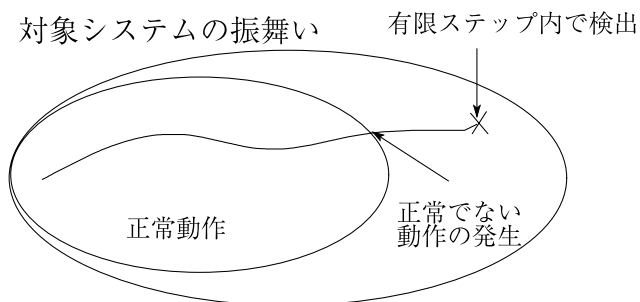


図3 診断問題の概念図

2.3 離散事象システムの分散ソフトウェアのモデル化への応用

近年、各企業では、コスト削減のための業務の見直し、顧客に対する新たなサービス提供のための業務の開発・変更が頻繁に行われるようになってきました。さらに、新規業務の立ち上げや既存業務の変更を行うために与えられる期間が短期化し、新たなビジネスニーズにすばやく対応することが求められています。そこで、情報システムを短時間で効率的に構築・変更することを支援することは重要な課題となっています。

サービス指向アーキテクチャ(SOA:Service-Oriented Architecture)は、「サービス」と呼ばれる独立して稼働しているソフトウェアなどのユニットを組み合わせ、大規模な情報システムを構築する手法の一つです。図4にその概念図を示します。コレオグラフィ

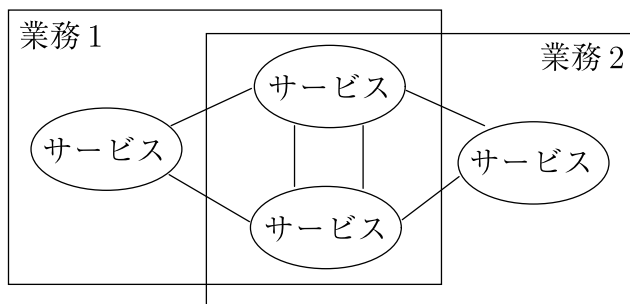


図4 SOAの概念図

は複数のサービスがどのように連携して実行されるかを定義するものであり、コレオグラフィからそれを模倣するサービスの動作モデルを作成する問題は「コレオグラフィ実現問題」と呼ばれます。本研究では、ソフトウェア開発における標準の記述言語であるUML(Unified Modeling Language)を用いるという理由から、コレオグラフィを記述する言語として、UMLコミュニケーション図を採用しています。そして、UMLコミュニケーション図で記述されたコレオグラフィから、サービスの動作モデルであるUML状態機械を自動的に生成、検証する手法の開発を行っています。特に、UMLコミュニケーション図からUML状態機械を生成する過程の中間モデルとして、離散事象システムモデルであるペトリネットを用いる手法を提案しています。

3. マルチエージェントシステムに関する研究

複数の「エージェント」と呼ばれる自律的な意思決定機能をもつ個体からなるマルチエージェントシステ

ムが、システム制御の分野でも注目されています。ここでは、本研究室で実施しているマルチエージェントシステムの協調制御、および分散エネルギー管理システムへの応用に関する研究を紹介します。

3.1 マルチエージェントシステムの制御

システム制御の分野において、エージェント同士のローカルな相互作用によってシステム全体としてのグローバルな目的を達成するための協調制御に関する研究が活発に行われています。自然界では、鳥や魚の群れ行動のように、複数の個体が集団として何らかの意味のある秩序を形成している例がみられます。工学の分野においても、無人航空機の編隊形成、高度道路交通システム (ITS)、群ロボット、センサネットワークなど協調制御の応用分野は多岐にわたっています。

協調制御の中で、すべてのエージェントの状態が等しくなるような制御を行う問題は「コンセンサス問題」と呼ばれています。コンセンサス問題の概念図を図5に示します。

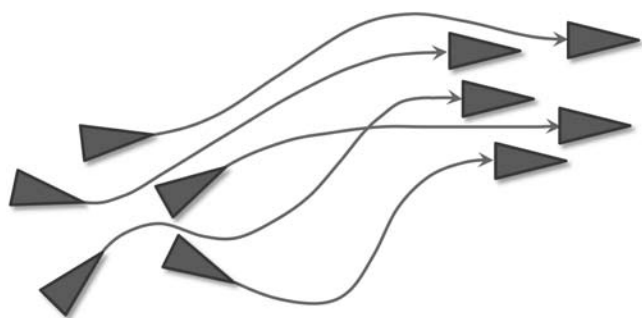


図5 コンセンサス問題の概念図

例えば、制御対象となる移動ロボットや無人航空機の進行方向を同じ方向に収束させる問題はコンセンサス問題の典型例です。コンセンサス問題においては、

- ・各エージェントは局所的な情報しかもたない
- ・エージェント間の情報伝達の構造は時々刻々変化する

という状況の下で、すべてのエージェントの状態が等しくなりコンセンサスが達成される条件を明らかにすることが主要な研究課題になります。

また、重要度の高い領域を、例えばできるだけ少ない消費電力で、といったように効率よく被覆するようエージェントを制御する問題は被覆制御問題と呼ばれています。被覆制御問題の概念図を図6に示します。この制御問題はモバイルセンサによりセンサネットワークを構築する問題などに応用できます。

近年、物理システムと情報システムが結合したサイ

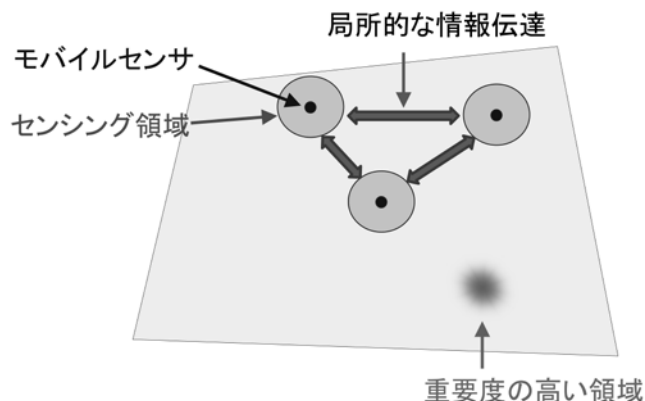


図6 被覆制御問題の概念図

バーフィジカルシステムという概念が提案され、情報工学やシステム制御など様々な分野で注目されています。本研究室では、各エージェントが物理システムと情報システムの結合とみなせるようなマルチエージェントシステムを対象とし、サイバーフィジカルシステムにおける協調制御の理論の構築とその応用を目指しています。

3.2 マルチエージェントシステムの分散エネルギー管理システムへの応用

地球温暖化対策として、CO₂ 排出量の削減は21世紀の世界における最重要課題の一つです。京都議定書により、日本も1990年の排出量を基準に、2008年から2012年までの5年間の温室効果ガスの平均排出量を6%削減することが義務づけられています。

日本でも現在、電気事業法をはじめ関係諸法の改正に伴い、エネルギー売買の自由化が進んでいます。そこで、エネルギー変換機器をもつ事業者などが、自らのエネルギー需要をまかなうだけでなく、需要量を超えたエネルギーを生産し余剰分を販売したり、逆に自らのエネルギー生産を抑えて他の事業者から購入するようなエネルギー売買を行うことが現実的に想定されるようになってきました。機器には最も効率の良い動作点がありますが、自身のエネルギー需要を満たすためだけならば、効率の悪い動作点での運転を余儀なくされる場合があります。もし、柔軟なエネルギー取引が可能ならば、エネルギー売買を考慮した機器の運転を行うことで、エネルギー利用の効率化が達成できます。特に地域レベルにおいて、このようなエネルギー取引によるエネルギー利用の効率化が期待されています。そこで、本研究室では、地域レベルでの消費コストを削減することを目的とし、CO₂ 排出量制約のもとで、事業者間のエネルギー売買を考慮した機器運転計

画を求める研究を行っています。

本研究では、独自の電力・熱エネルギーの需要を持ち、CO₂ 排出量制約が課されている独立した企業体で構成され、それら企業体間で電力・熱エネルギー売買の自由が認められた特別区域を想定しています。そしてそのような特別区域を群と呼んでいます。群の概念図を図7に示します。

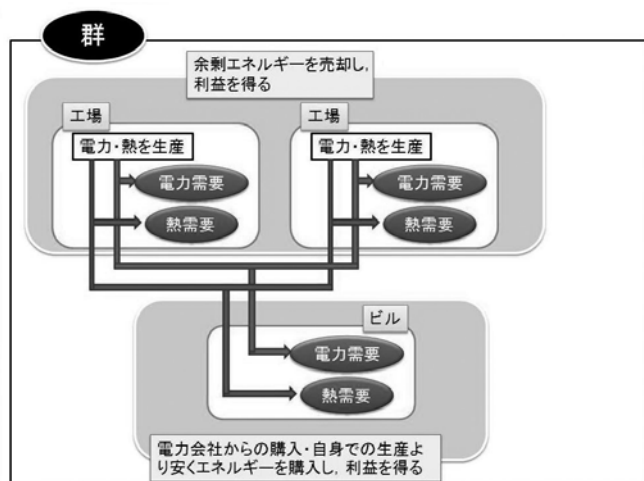


図7 群の概念図

群内の消費コストを削減するには、群全体に対して最適な機器運転計画を集中型のアプローチで求めることも考えられますが、各企業体は独立であるため、群全体に対して集中型の最適化により作成された運転計画が受け入れられるのか、といった問題があります。そこで、各企業体をエージェントとみなして、各エージェントがエネルギー売買を考慮しながら CO₂ 排出量制約のもとで機器運転計画を立て、市場プログラミング手法を用いたエージェント間の協調により、群全体の消費コストを削減するマルチエージェントシステムとしての、分散エネルギー管理システムを提案しています。

4. マルチカーエレベータの群管理に関する研究

近年のビルの高層化に伴い、ビル内における輸送能力の向上が求められています。しかし、従来のエレベータシステムでは、エレベータ空間が床面積の大部分を専有するという問題があり、輸送能力の向上のためシャフト数を増やそうとすれば設置面積が増加してしまうという問題があります。これに対し、シャフトに対して複数のかごを設置することにより輸送能力の向上を図るマルチカーエレベータシステムが注目を集め

ています。マルチカーエレベータシステムの概念図を図8に示します。

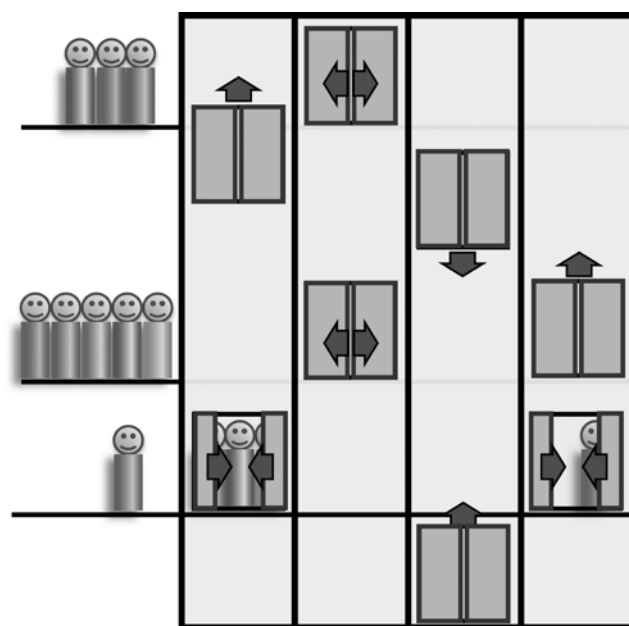


図8 マルチカーエレベータシステムの概念図

マルチカーエレベータシステムでは、同一シャフト内に設置された複数のかごの衝突を回避する必要があります。これまでに知られているほとんどのマルチカーエレベータシステムの制御アルゴリズムでは、同一シャフト内のかごはすべて同じ方向に移動させるなど、かごの移動方向に制限をかけることにより、かご間の干渉を防いでいました。しかし、同一シャフト内のかごをすべて同じ方向に移動させることは輸送効率の低下につながります。そこで本研究室では、マルチカーエレベータシステムの群管理において、かごの移動方向を制限することなく、乗客からの乗り場呼びにかごを割り当てる方法について研究を行っています。特に、乗客に対して、乗り場呼びが発生してから目的階に到着するまでのサービス完了時間を短くすることを目的とし、集中型の発見的アルゴリズム、強化学習法に基づく分散型アルゴリズムを提案しています。

5. おわりに

本稿では、本研究室で実施している研究の概要を紹介しました。今後も、システム制御に関する先進的な研究テーマに取り組んでいく所存です。

大阪大学工業会会員の皆様のご指導、ご支援を賜りますようお願い申し上げます。

(学界)