

報告番号	※ 甲 第 10606 号
------	---------------

主 論 文 の 要 旨

論文題目 データと事象駆動型システムモデルに基づいた診断と予測

氏 名 山口 拓真

論 文 内 容 の 要 旨

本研究では、離散事象システムに分類されるシステムに対して、データと準マルコフ過程を用いてモデル化し、診断問題と予測問題に適用する。

第1章は序論であり、離散事象システムのモデルの数理モデルについて説明する。そして、データ活用の必要性について述べ、診断問題と予測問題について説明する。

離散事象システム (Discrete Event System: DES) とは、離散的な事象によりシステムの挙動が特徴づけられるシステムのことである。この離散事象システムは内部状態に離散的な状態を持ち、状態が不連続に変化する。また、時間など連続的な情報も含有してもよく、離散事象システムに分類される対象は生産システムや製造プロセス、コンピュータにおけるハード/ソフトウェア、通信システムなどが挙げられ、現代社会を支えるシステムの多くは離散事象システムに分類することができる。さらに、人間の行動も意図や目的が離散的に切り替わることから離散事象システムであると認識することもできる。

離散事象システムの中には、離散的なシステムの状態により、システムの動作を表現できるものがある。このような場合、生じた事象 (イベント) の系列を信号源として捉え、その系列の順序に着目する事象駆動型システムであると捉えることができる。そのようなモデルでは、時間などの要因によりイベントの生起が確率的な振る舞いをすることがあり、確率的なモデルで表現した方が好ましいケースも少なくない。また、確率的に事象駆動型システムを記述することにより、イベント系列の生起確率など確率論上の枠組みで議論することが可能となる。

事象駆動型システムを確率的に表現する手法として、準マルコフ過程がある。イベントの生起時間間隔も表現できるため、他のモデルに比べ表現能力が高く、他のモデルでは検討できない項目も検討できる。しかし、時間要素を含むためパラメータ数が増えてしまい、パラメータの同定や計算量が問題となる。また、対象とするシステムが大規模、複雑である場合はモデルのパラメータは非常に多くなってしまうため、モデルの設計はこれらの点を注意して行う必要がある。

事象駆動型システムのモデリングのアプローチとしては、システムの熟知者によるシステムの設計に基づくモデリングと過去の蓄積されたデータに基づくモデリングがある。ペトリネットなどの確定的なモデルでは、状態の遷移則を記述すればよいので、設計に基づきモデリングされることが多い。一方、確率的なモデルでは、状態の遷移確率を設定する必要があるため、データに基づきモデリングされる。また、事象駆動型システムは比較的簡単なロジックで表現されるため、システムの設計に基づくモデリングによって表現されることが多い。しかしながら、システムが大規模・複雑な場合は全体の制御ロジックを把握することは困難であるため、設計に基づくモデリングは多大な労力を要することが多い。このような場合は、過去の蓄積されたデータから生起するイベントの順序規則を抽出し、その規則に基づきモデリングする、データに基づくモデリングが有効となる。

準マルコフ過程のような確率的モデルでは、確率をパラメータとして持つため、データに基づいてモデリングが有効である。システムをデータに基づき確率によって表現することにより、不確実性を許容している点においてより現実的なモデルが得られる。しかしながら、データに基づくモデリングでは多くの学習データを必要とする場合がある。この特性はシステムが大規模・複雑な場合に顕著となり、場合によってはモデル構築自体が不可能となるもある。この学習量の多さを解決するためのアプローチとして分散型手法がある。システムをいくつかの要素として記述することにより、システムをより小さく、簡単に表現できる。

本研究では事象駆動型システムに対して、データと準マルコフ過程を用いてモデル化する。そして、得られたモデルを用いて、システムの診断問題と予測問題に適用する。しかしながら、モデルの複雑さから学習量や計算量の多さなどが問題となる場合がある。本研究では以上のことがらを踏まえ、確率理論を用いた事象駆動型システムの状況の推定、準マルコフ過程を用いた予測器の設計、観測データに基づく分散型手法の適用を研究の目的として設定する。

第2章では、Bayesian network を用いた分散型故障診断手法について述べる。

事象駆動型システムの故障診断手法では、想定される故障ごとに観測されるイベント系列のモデルを作成し、得られたモデルを用いて故障診断がなされる。そのため、対象とするシステムが大規模・複雑である場合では、モデルの学習や診断時の計算量が問題となる。このような大規模・複雑なシステムに適用する場合はシステムをいくつかの単純な構造に分割する分散型故障診断手法が有用である。

提案する分散型故障診断手法では、システムをいくつかのサブシステムに分割し、各サブシステムに対して準マルコフモデルを用いて表現して、サブシステム内の局所的な診断器を作成する。そして、各サブシステムの間をベイジアンネットワーク (Bayesian network: BN) を用いて故障と観測イベントの因果関係を表現する。この BN を用いて大域的な診断器を作成し、システム全体を考慮した故障診断が実行される。

BN は故障と観測イベント系列の関係を表現しており、その構造により診断精度や計算量が左右される。しかしながら、ネットワーク構造の構築はシステムの特長やシステムの制御側など専門家の経験的知識を必要とし、システムが大規模・複雑な場合はネットワーク構造を構築することは容易ではない。そこで、システムから得られるデータを基にネット

トワーク構造を構築できる手法を提案し、得られたネットワーク構造を用いて精度よく診断できることを確認する。

第3章では、システムの工程(プロセス)に着目した故障診断手法について述べる。

事象駆動型システムの確率的故障診断手法では、観測されたデータから確率を学習し、故障診断を行う。そのため、故障診断モデルを獲得するためには多くの学習データを必要とする。また、動作使用の変更などによりイベントの生起頻度や時間に変化があった場合は学習をやり直さなければならず、学習に伴うデータの収集と計画の負荷が大きいという問題がある。

本章では、準マルコフモデルの学習量を削減するため、事象駆動型システムにおいてイベントによって生起する動作に着目し、その動作の組み合わせとしてシステムの挙動を表現することを考える。事象駆動型システムは生起したイベントに対応してシステムの制御が切り替えられる。例えばシーケンス制御では、システムがセンサの活性に連動してアクチュエータを動作させ、システムの一連の動作(プロセス)が実現される。このとき、システムの挙動はアクチュエータによる複数のプロセスの組み合わせとして表現できる。このようにシステムの挙動をいくつかのプロセスの組み合わせとして表現することにより、学習量の低減が期待できる。

システムの挙動をいくつかのプロセスに分割して考えることにより、学習にも違いが生じる。従来の故障診断手法においてシステム全体の挙動をモデル化する場合には、診断時と学習時の状況や環境が同じでなければならない。一方、提案手法ではいくつかのプロセスに分割して考えているので、一つ一つの動作に分解して学習すればよい。そのため、システムの変更があったとしても、システム全体の挙動を再学習せず、変更された部分のみ学習することにより対応できる。

複数のワークを同時に運搬する搬送システムを考え、プロセスをワーク1つの運搬であるとする。このシステムに対して提案手法を適用し、学習量が少ない場合でも精度よく故障を診断できることを確認する。

第4章では、動的計画法を用いた車の走行予測手法について述べる。

車の走行行動は各時刻における使用状況の系列として表現することができる。使用状況は車を使用している状況と使用していない状況の二値として表現することができる。このとき、車の走行行動の予測は、過去の統計データから確率が最も高くなる車の走行行動を予測する最尤推定問題として記述することができる。

しかしながら、この車の走行行動の組み合わせ数は非常に大きく、計算量の点に問題がある。そこで、本章では車の走行行動に対して準マルコフ過程を適用して、モデル化を行う。準マルコフ過程を適用することにより、最尤探索問題に動的計画法を適用することが可能となり、リアルタイムに車の走行予測を行うことができることを確認する。

第5章は結論であり、第2, 3, 4章を通して設定した目標が達成されたことを確認する。

準マルコフ過程は生起するイベントの順序だけではなく、その生起時間間隔を表現できるため、他のモデルでは表現できない性質を検討することができる。例えば、準マルコフ

モデルでは故障としてアクチュエータなどの速度低下を取り扱うことができる。これはペトリネットやオートマトンなどの他の事象駆動型システムのモデルでは診断することはできない。このように、準マルコフモデルではその表現能力の高さゆえ、多くの対象の問題を取り扱うことができる。

しかしながら、その表現能力の高さはモデルの複雑さの起因となっており、計算量や学習量の多さが問題となる場合が多い。計算量や学習量の多さが問題となる場合は分散型手法が有用なアプローチとなる。本研究では、システムの構造やモデルの構造、計算構造などをいくつかの部分問題に分割し、計算量や学習量の多さを解決した。