

論文の内容の要旨

論文題目 「ベイジアンネットワークを用いた運転員の意図推論モデル」

●研究の背景

複雑で大規模な機械系が高度に自動化されるにつれて、今までに予期されないような問題が起こるようになった。その要因の一つには、機械系が高度に自動化されることによって人間の状況認識能力を妨げてしまうということがある。そこで、人間に最終決定権を与え、人間と機械系の間で静的なタスク配分をおこなう「人間中心の自動化」が提唱された。しかし一般的に、人間と機械のどちらに最終決定権を与えるかといったタスク配分は状況による。よって、状況を考慮して人間と機械の間で動的にタスクを配分することが可能なシステムが望まれている。このようなシステムでは、人間と機械がお互い補完的に作業を行うことが必要であり、様々な研究がなされてきた。これらの研究において、機械系が人間のもつ意図を推論し、それに応じて作業を行う機能は大変重要な要素である。

これまで、意図推論の研究は主に自然言語理解や教育支援システムの分野で行われてきた。しかし、これらの研究において、状態認識過程を含めた意図推論は十分に扱われていたとはいえない。そこで、本研究は人間の認知行動過程全般を扱った意図推論手法の提案を目的とする。推論エンジンとしてベイジアンネットワークを用いることによって、人間の認知特性と、より整合性をもつ推論手法を目指した。

●認知行動課程

人間の認知行動過程は次のように表される。人間は、環境から感覚器官を通じて獲得した情報より、対象システムの状態同定に利用する徴候を抽出する。この徴候は定性的な値をとる傾向にあることが知られている。観測により得られた徴候から対象システムの状態を同定した後、目標を設定し、その目標を達成するため、プランを設定する。そしてこのプランを実行することによって行為に至る。このような一連の過程を繰り返し行うことによって人間は認知行動を行う。本研究では、感覚刺激から状態を同定するまでの過程を状態認識過程、目標を設定してから行為をなすまでの過程を行動過程と呼ぶことにする。このような認知行動過程において、人間のもつ意図を推論するとは、その人間が獲得した感覚刺激と実行の結果である行為の二大情報源より、その人間のもつ目標やプランを同定することと定義することができる。

●意図推論モデルの提案

認知行動過程全般を考慮した意図推論モデルの提案を行う。意図推論とは、感覚刺激と行為の2つの情報から人間のもつ目標やプランを同定することである。本研究では、意図推論の推論エンジンとしてベイジアンネットワークを用いる。ベイジアンネットワークを、感覚刺激からの証拠としての徴候から対象システムの状態を同定する状態同定と行為から対象者の持つプランや目標の同定の両推論過程へ適用する。ベイジアンネットワークを推

論エンジンとして用いた理由は主に次のとおりである。

1. ベイジアンネットワークを用いることによって人間のもつ信念の強さを確率値で表現することができ、不確かな状況下での推論をモデル化できる。
2. ベイジアンネットワークは状態認識過程の状態同定と行動過程におけるプラン認識の双方向の推論に同じように使用することができる。
3. ベイジアンネットワークを使用することによって、ある仮説の確率値が上がると競合する仮説の確率値は自動的に下がるといった、人間の推論の特徴でもある推論の非単調性をモデル化することができる。

このようにベイジアンネットワークを推論エンジンとして使用することによって、人間のおこなう意図推論の特徴をより整合的にモデル化することができる。

●ベイジアンネットワークについて

ベイジアンネットワークはノードとリンクからなる有向非環グラフである。各ノードは確率変数の集合に対応しており、有向リンクはリンク元のノードがリンク先のノードに直接的な影響を及ぼしていることを意味している。各リンクは親ノードが生起したときに子ノードが生起する条件付確率をもつ。ベイジアンネットワークを意図推論のエンジンとして用いる場合、各ノードのもつ確率値は、人間がそのノードの表す事象が生起していると信じている度合いを表していると考えることができる。

●モデルの構築手法

モデルの構築手順は、1. 状態認識過程側のベイジアンネットワークを作る、2. 行動過程側のベイジアンネットワークを作る、3. 双方のベイジアンネットワークを統合し事前確率を求める、4. 証拠をネットワークに入力し事後確率を求める、の4段階からなる。

状態認識過程のベイジアンネットワークの構築においては、まず状態階層の構築から始まる。対象システムの状態を一般・特定関係で分類し階層化したものを状態階層と呼ぶ。状態階層において、特定のな状態から一般的な状態へ有向リンクを張ることによって、ベイジアンネットワークを得ることができる。さらに各状態が生起したときに観測される徴候を付加することによって、状態認識過程側のベイジアンネットワークを構築することができる。このとき、複数の徴候ノードがある物理現象によって、その生起が支持されている場合、その物理現象を表す因果ノードを導入することによって、計算効率の良いネットワークを構築することができる。

一方、行動過程側のベイジアンネットワークは、目標、プラン、行為を表すノードから成る。ある行為を行った原因としてプランを、あるプランを持った原因として目標を挙げられることから、目標がプランへと分解され、プランが行為に分解されるようなベイジアンネットワークとなる。このとき、プランが行為だけではなく、他の詳細なプランへと分

解することが許される場合、状態認識過程の場合と同じく計算効率の良いベイジアンネットワークを構築することができる。

状態認識過程、行動過程、双方のベイジアンネットワークの構築が完成したら、状態認識過程の状態ノードから対応する行動過程の目標ノードへ有向リンクを張ることによって、全認知行動過程を表すベイジアンネットワークを構築することができる。

● 状態認識過程への適用

状態認識過程の検証例題として PWR 原子力プラントの試験運転員がプラントシミュレータの異常を同定する過程を用いた。認知実験によって得られたシステム状態の推論結果と本手法を用いた推論結果を比較することによって、同定された状態を確率値 80%以上の状態、想起された状態を 20%以上の状態と定義することができた。また、この定義を用いて、認知実験との意図推論結果の比較を行った。

● 認知行動過程全体を考慮した意図推論モデルの検証

状態認識過程を含めた認知行動過程全体を考慮した意図推論の検証例題として、Duress の運転員が異常状態を同定した後、システムを正常状態に復帰させる過程を用いた。認知実験として、Duress の操作に比較的慣れている被験者 3 名を用いて実験を行った。実験では、Duress は正常状態からスタートし、数秒後に故障イベントが生起するように設定されている。認知実験において、タンク A 漏洩、ヒータ A 漏洩、ポンプ A 停止、ポンプ A 漏洩、バルブ 0, 1, 5 漏洩、要求流量変更、要求温度変更の 9 つの故障イベントを各被験者に行ってもらった。被験者は各故障イベントに適切に対応し、システムを正常な状態に回復させるように操作を行う。また被験者の注目した部分を抽出するため、実験中に観測した事象を発言しながら実験を行った。

Duress における検証では、静的な認知知識に基づいて推論するモデルと d-分離を用いた近似手法によって、動的に認知知識を構築するモデルの 2 つのモデルで比較検証した。

● 結論

高度に自動化されたシステムにおいて、人間と機械が補完的に作業を行うことは大変重要になってきている。この補完的な作業を効率的に行うために、機械系が人間の意図を推論する技術が重要である。しかし、人間の認知行動過程全体を扱った意図推論技術の研究はあまりなされていなかった。そこで、本研究ではベイジアンネットワークを推論エンジンとして用い、状態認識過程を含めた全認知行動過程上で意図推論過程をモデル化した。これにより、プラン認識のみのモデルでは不完全にしか扱えなかったケースにも対応できるようになった。また、ベイジアンネットワークを用いることによって、非単調な推論や推論の双方向性を数学的な背景をもって整合的にモデル化することができるようになった。