

制御系における状況認識と行動判断に関する研究

Study on state recognition under condition and behavior judgement for control systems

主任研究員：竹口知男

分担研究員：岩佐哲夫 宮井義裕 能勢和夫

本長期的共同研究は、人とインタラクションを有する移動体(自動車、自律移動の福祉ロボット等を含む)の制御系に対して、人間特性を考慮した知的処理を図るためのヒューマンインターフェイスについての研究を行うことを研究目的としている。その研究目的のためには、移動体の制御系における学習機能、人及び移動体の状況判断の定量的表現方法、移動体間ならびに移動体と人間間の通信手段、さらにはマルチエージェントによる知識獲得ならびに知識の共有・協調などの多くのサブテーマについて研究を行なう必要がある。そこで平成10年度は、(1)「制御系の学習機能」、(2)「制御系の状況認識と定量的表現」、(3)「自律エージェントの知識獲得」の3つのサブテーマについて分担研究を行い、各分担研究において、つぎのような研究成果が得られた。

(1) 制御系の学習機能に関する研究

人間の動作・行動を状態遷移として捕らえ、その状態遷移をペトリネット (Petri Net) によって表現することにより人間の動作・行動等に対する表現法についての研究と、MIT人工知能研究所のR.A.Brooks教授らが提唱している“包摂アーキテクチャ (Subsumption Architecture, SA)”に対する自律移動ロボットの機械学習としての有効性検証についての実験研究を行った。結果として、動作表現法については、塗装熟練作業者の一連の作業動作について、パターンタスクとプリミティブタスクに階層分解して基本動作部分のペトリネット化を図ったが、動作表現方法としての有効性評価を行うまでには至らず、対象動作の拡張と動作表現法の有効性評価について続けて検討している。また、SAについては、SAを基としたハード・ソフト構成の2台の小型自律移動ロボットを製作し、2台で仮想物を目標地点まで協調しながら搬送させるようにした。経路上に任意の障害物を置いて実験を行った結果、搬送距離および仮想物体長さが短い場合には2台が協調しながら目標地点に到達したが、搬送距離仮想物体長さが長くなると、上手く協調動作が行えなかった。これは検出方法によるものと思われるため、検出方法・精度について現在検討を行っている。

(2) 制御系の状況認識と定量的表現

自律移動ビークルにとって、周辺環境情報を獲得することがつぎの行動判断を行う上で重要である。そのため、自律移動ビークルをクライアントとし、環境内の位置ならびに進路についてのロケーション情報をサーバより獲得できるように無線LANシステムを構築した。また、経路上の障害物(人間も含む)を検知するために、自律移動ビークル

ルにビデオカメラを搭載し、無線LANを通じてそのビデオ画像をサーバに転送し、あらかじめ撮影されている画像と対比する画像処理を行うようにしたが、課題が多く残った。さらには、障害物でも人または自律移動物体が障害となる場合には、固定物が障害となる場合とは異なる対処法となるため、人と固定物との識別方法について検討を行っている。

(3) 自律エージェントの知識獲得に関する研究

自律マルチエージェントの知識獲得における遺伝的プログラミング (Genetic Programming, GP) 適用の有効性についてのシミュレーション研究を行った。汎用的な遺伝的プログラミングをJava言語によりプログラム開発を行い、そのGPプログラムを簡単な行動規則に基づく人工蟻 (マルチエージェント) の餌捕獲集団行動における知識獲得に適用した。結果として、蟻の基本的な行動規則のみを設定することにより、GPの世代交代が進むにしたがって、人工蟻が餌捕獲集団行動に対する複雑な行動知識を自動的に獲得していくことが確認され、自動知識獲得におけるGPの有効性が確認された。

制御系の学習機能に関する研究

竹口知男 (工学部)

本分担研究では、人間の動作・行動等の制御動作に対してロボットが機械学習を行うためのフレームワーク構築を研究目的としている。平成10年度における本分担研究においては、人間の動作・行動を状態遷移として捕らえ、その状態遷移をペトリネット (Petri Net) によって表現することにより人間の動作・行動等に対する表現法についての研究と、MIT人工知能研究所のR.A. Brooks教授らが提唱している“包摂アーキテクチャ (Subsumption Architecture, SA)”に対する自律移動ロボットの機械学習としての有効性検証についての実験研究を行った。

人間動作の表現法については、これまでと同様に熟練塗装作業者の作業動作を対象動作とし、ペトリネットの開発処理ソフトとして米国ISI社の“BetterState”を用いた。箱型形状被塗装物などに対する塗装熟練作業の一連の作業動作について、パターンタスクとプリミティブタスクに階層分解して基本動作部分のペトリネット化を図った。熟練作業動作をペトリネットにより表現可能であることは確認できたが、動作表現法としての有効性評価までには至らなかった。今後、対象動作を拡張するとともに、動作表現法としての有効性評価を行うことを検討している。

一方、“SA”については、SAに基づく2台の小型自律移動ロボット (高さ×直径: 132×186mm) を製作し、1台では搬送不可能な大きさの仮想物体を移動開始地点から目標地点まで2台の移動ロボットで協調しながら搬送する模型実験を行った。小型移動ロボットは、マイクロプロセッサ (Motorola製MC68HC11A0) で制御するようにし、後部2輪駆動の3輪型で後部左右2輪の回転速度を変えることにより操縦を行えるようにした。また、目標地点上方にライトを点灯させておき、目標位置方向が障害物に妨害されることな

く検出できる環境とした。移動ロボットのセンサとしては、1台は主導車として障害物などとの接触センサおよび前方障害物検知のための赤外線センサを装備するとともに、ロボット前面左右に光センサを取付けて左右の光量差により目標位置方向を検出させるようにした。他の1台は伴走車として仮想物体を搬送するに適した先導車との距離・方向を保つために左右首振り回転機構を有する音響センサと障害物検知の接触センサを装備した。また、ソフト開発にはC言語を用い、下位から上位までの各レベルの機能をC言語関数化し、割り込み処理によってSAのソフト処理が実行可能なようにした。実験の結果としては、目標地点までの経路および仮想物長さが短いときは、任意に置かれた障害物を避けて2台が適当な間隔を保ちながら目標地点に到達した。しかし、経路および仮想物が長い場合には2台の間隔を適当に保つことが困難であった。この原因はセンサの検出誤差にあると思われるため、検出方法・精度について現在検討している。

制御系の状況認識の定量的表現

岩佐哲夫・宮井義裕（工学部）

すでに産研叢書で報告をした自動車運転者の適性に関する研究の中で、色々のセンサを検討する機会があった。運転者が安全な操作をする基本は周辺状況を的確に判断することである。この判断を無人搬送車（ビークル）が行なうためにはセンサに頼る方法が最も信頼できると考える。状況判断として認識したい物は多数あり、その中でも、ロケーションは重要なファクタである。初年度は全体的な構想の中から、ビークルの構造と試作、ロケーションの認識について、検討を進めた。ビークルは2軸駆動で、操舵も駆動輪の回転数の差で行っている。駆動力は12VのDCモータを採用し、PM制御によって、回転速度をコントロールしている。ロケーションの認識は、構内に敷かれたネットワークケーブルを利用して、ビークルに搭載したノートパソコンをクライアントとした無線LANを構築した。これによって、論理的には複数台のビークルが双方向通信を行ないながら、ビークルは現在位置と進路上の固定情報を知り、オペレータ側も全体の把握と各ビークルに対する送行指示が可能となった。

しかしながら、実際の走行路上には様々な障害が存在する。例えば、移動する人間および運搬中の物体、制御されているビークルの停止による障害などである。最も分りやすい方法として、人間の視覚的な判断を模擬することである。将来的には有効な方法であるが、現時点では時期尚早とは考えたが、パソコンで、どの程度の状況判断が出来るかを調べるために、ビークルにビデオカメラを搭載し、その映像をサーバに送り、あらかじめ撮映した映像と対比する画像処理を行なった。経路上に直径30cm、高さ40cm程度の障害物を置いて、障害物の有無を判断させた。ビークルの位置は一定でもカメラアングルによって、かなり判断も難かしく、静止画のように、うまく行かず、技術的にも解析的にも、多くの課題が残った。これと並行して、赤外線による体温感知可能なセンサをビークルの先端に取付け、人が経路内に入って、走行に支障がある場合に、警報を鳴らす、あるいは、一時停止をして、人の通過を待つことを検討した。センサの機能は確認出来たが、感知範囲

の検討を、引き続いて行なっている。一定の径路内で、ビークル（他の）が径路を防いでいる場合は、LANによる双方向通信が行なわれているため、走行するビークルが前方のビークルを障害物として対応することは比較的容易である。赤外線センサによって、人と物の識別をすることにより、状況認識は一步進められると考える。

自律エージェントの知識獲得に関する研究 能勢和夫（工学部）

1. まえがき

遺伝的プログラミング（GP）は、与えられた問題の解クラスを木構造のプログラムで表現できるものとし、プログラムに交叉・突然変異と呼ぶ変形処理を施すことによって、求める解を見つけようとする方法論である。特に、GPは知識の自動生成に有効であるといわれているが、どのような問題設定をしておけば有効な知識が自動生成できるのか、という点は明らかにされていない。そこで、人工蟻の餌の探索を例に、有効な知識の自動獲得について検討することにした。分担研究初年度である今年度は、まず、Java言語によりGPの汎用的なプログラムを作成し、次に、蟻の簡単な行動ルールを設定し、蟻が複雑な行動知識を獲得していく過程を確認することにした。

2. GPプログラムの開発

GPでは、木構造のプログラムに交叉・突然変異処理を施すため、前もって木構造を表現する配列のサイズを決めておくことはできない。そこで、可変長の配列の管理が容易であるJava言語によりGPの汎用的なプログラムを作成することにした。さらに、Java言語はオブジェクト指向言語であるため、複数のノードオブジェクトがメンバとしてツリー（木）オブジェクトを構成し、さらに複数のツリーオブジェクトがメンバとしてプログラムを構成するGPの作成に適している。

3. 人工蟻

人工蟻が行動する世界を次のように設定した。①20×20のマス目で構成されたフィールド上には40個の餌がある。②蟻は限られたエネルギーの範囲内で餌の探索を行う。③蟻は向きを変えつつ前方に一步步進む。斜めには進めない。④蟻はセンサを持ち、自分の前方に餌があるか否かがわかる。⑤蟻は行動を行うたびにエネルギーを消費する。⑥各蟻の行動プログラムをGPで生成する。非終端ノードを蟻の判断を決定する関数、終端ノードを蟻の動作として、プログラムのツリー構造を設定する。⑦プログラムによって蟻を行動させ、保有エネルギーの範囲内で獲得できた餌の数を行動プログラムの適合度とする。⑧蟻（プログラム）の集団に対して、選択・交叉・突然変異操作を施し、世代交代を繰り返し、新しい行動プログラムを次々に生成する。

4. 結果

以上の設定のもと、GPプログラムにより人工蟻の行動知識が自動的に獲得されることが確認できた。今後は、種々の条件設定下で探索実験を繰り返し、知識の自動獲得に関する知見を蓄積していく。