

論文の内容の要旨

論文題目

認識計画実行機能の評価制御機構を備えた 等身大ヒューマノイド統合システムの研究

氏名 植田 亮平

本論文は「認識計画実行機能の評価制御機構を備えた等身大ヒューマノイド統合システムの研究」と題し、等身大ヒューマノイドロボットのための統合ロボットシステムを構築する際に、要求される時間に従って、システムが自動的に品質を保持しながら認識・動作計画・実行に費やす時間を制御可能な機能をロボットシステムに持たせるためのシステム構成法を主題に取り組んだものである。本論文は全 7 章から構成される。

第 1 章「序論」において研究背景としてロボットシステムの研究について述べ、要求される時間に従って、システムが自動的に品質を保持しながら認識・動作計画・実行に費やす時間を制御可能な機能をロボットシステムに持たせることの重要性について述べた。また、研究背景として関連研究との対比を行い本論文の位置づけを行った。

第 2 章「認識計画実行機能の評価制御機構に基づくプロジェクトスケジューリング」ではロボットシステムにおいて認識、動作計画、動作実行のパラメータを変更することで品質と必要時間を制御可能な仕組みとして評価制御機構を導入した。評価制御機構の特徴はタスク実行中の認識や動作計画、動作実行において精度や信頼性に影響を与えるパラメータを制御することでタスク遂行に必要なとなる時間を、与えられたタスク遂行目標時間に対してスケジューリングする機構であった。これは認識、動作計画および動作実行において計算量や精度を制御可能なパラメータを持つものを利用し、パラメータに関して必要となる計算時間や実行時間および品質の関係を品質-時間テーブルとして保持することで可能となるシステムであった。複数のタスクの連続をプロジェクトと呼び、移動を伴うマニピュレーションプロジェクトにおいて、実行時のスケジューリングモデルとして移動前にのみ認識を行う実行モデル、移動前後で認識を行う実行モデル、そして移動中に認識を継続して行う実行モデルの 3 種類を定義した。

第 3 章「遠隔操縦ロボットシステムのためのソフトウェア環境」では遠隔操縦型のロボットシステムにおいてユーザインタフェースを中心としてシステムをどのように設計するべきであるかについて災害対応ロボット競技会を題材として述べた。遠隔操縦システムでは予期しない問題が発生した場合においても対応可能なシステム構成について述べた。人がフィードバックループに常に介在するような Human-in-the-loop 型の遠隔操縦ではなく、人が時々ロボットにヒントをあたえ、問題が発生しない限りにおいてはロボットが認識・計画・実行を自律的に行うことが可能なシステム構

成であった。自律的に動くシステムを基本とし、システムの自律性の抽象度にしがたってオペレータが介入可能なユーザインタフェースを用いることで、遠隔操縦において予期しない状況でも復帰可能なシステム構成となっていることを実際の競技会を通じて示した。また、競技会での時間経過について分析することで、競技会ではオペレータが必要以上に慎重になったために全てのタスクを完遂出来なかったことから、システムがタスク遂行に必要となる時間を制御するシステムが必要であることを指摘した。

第4章「認識器と動作計画器の協調的サブスケジューリングによる足配置計画法」では足配置計画法を題材にし、動作計画と認識器を協調的に動作させることで高速に動作計画を行う手法について提案した。動作計画器と認識器を協調的に動作させることで、認識器は動作計画が必要としている領域を知ることができ、必要となる認識処理を削減することが可能であった。さらに環境の多くが連続した平面で構成されるという仮説を導入することで、認識処理を削減し、探索を高速化することが可能であった。協調的スケジューリングおよび環境平面仮説によって足配置計画法の高速度手法を実験を通じて有効性を確認した。

第5章「継続的認識機能のための3次元点群追跡による物体認識器」では3次元点群を利用したパーティクルフィルタによる実時間物体追跡手法について述べた。継続的認識機能は移動中に認識を行いながら認識処理や動作計画に必要となる時間を短縮する実行モデルのために重要な機能であった。3次元点群処理は計算量が大きく実時間処理は難しいため、実時間での物体追跡を可能とするための最適化を行い、物体追跡実験を通じてその有効性を確認した。また、精度と計算時間および高速化のためのパラメータの関係について静的な環境での実験を通じて示した。

第6章「環境およびロボットの状態監視のための常時稼働型ソフトウェア」では高次の意思決定機能となるタスク計画器を利用した実行時の監視機能について提案し、マニピュレーション実験を通して人の割り込みによる環境の変化に対応可能であることを示した。タスク計画器は古典的なAIとして知られるシンボリックな記述に従ってロボットの行動手順を計画するものである。ロボットはこの計画された行動手順にしたがってタスクを遂行していくが、実行時に発生するエラーに対して素早く対応することは難しくなる。本論文ではこの環境への即応性を解決するため、大域的・局所的なフィードバックという2つのフィードバックを利用した。局所的なフィードバックは第5章で述べた実時間3次元点群追跡器による継続的認識機能を利用したビジュアルフィードバックであった。大域的なフィードバックはシンボリックな記述によって得られる行動の前後および実行中に成立すべき条件を継続的認識機能利用することで監視し実現した。

第7章「評価制御機構に基づくプロジェクトスケジューリングの実装と評価」では評価制御機構における品質-時間テーブルの構築法について述べ、品質-時間テーブルを利用したスケジューリング手法について述べた。認識では3次元点群の低解像度化、動作計画では衝突計算およびマニピュレーション軌道の詳細度、実行部においては動作速度が与える安定性への影響を考慮して品質-時間テーブルを構築した。提案手法により構築した品質-時間テーブルを利用することで、必要時間に応じたパラメータ調整が可能であることを実験を通じて示し、その有効性を確認した。また、移動を伴うマニピュレーションプロジェクトにおいて、移動による品質低下を考慮することで第2章で述べた3種類の実行モデルから適した実行モデルが選択可能であることを実験によって示した。第8章「結論」において各章の内容から本論文を総括し、本論文の成果をまとめた。

本論文の成果は以下のようにまとめられる。

高度な認識および動作計画が必要とされるヒューマノイドの統合システムにおいて構成要素である認識機能、動作計画機能および実行機能に関して、必要時間とトレードオフの関係となる精度や詳細度といった品質パラメータを導入し、システムが品質と必要時間の関係性を保持することに基づいたプロジェクトスケジューリング機構を用いることで、従来はシステム実装者が注意深く調節していたパラメータを、人間は必要となる時間を指示するのみでロボットのタスク遂行時間や各構成要素のパラメータを自動的に構成し、与えられた時間内で品質を保証する実行動作制御機構を示し、災害対応用タスクでの既存システムとの比較を通じて実際に認識計画実行機能の評価制御機構の効果を示すことで本提案の有効性を確認した。本論文は求められる要求度緊急度が異なるタスクに対応する基盤となるシステムを人間がその機構を利用して要求に応じたシステムをカスタマイズ可能であることを示したのみでなく、システム自体がシステムの運用履歴を通してそのカスタマイズの方法を導入することで適応的・学習的に要求タスクへ対応するロボットシステムへの基盤となるものとしての可能性を示したものである。