

プログラム名：タフ・ロボティクス・チャレンジ

PM名：田所 諭

プロジェクト名：ロボットプラットフォーム 及び ロボットインテリジェンス

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成 2 7 年 度

研究開発課題名：

タフな索状ロボットおよび極限ヒューマンインタフェースのための極限制御システムの開発

研究開発機関名：

国立大学法人 京都大学

研究開発責任者

松野 文俊

I 当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

1. タフな索状ロボットとタフな索状用コントローラの開発
 - (a) タフな索状用コントローラの設計と汎用ヘビ型ロボットの開発
 - 汎用ヘビ型ロボットのプロトタイプ製作と動作確認
 - 2次元狭所および管径の変化への適応の実現
 - 作業失敗の予防策に関する検討
 - (b) 水陸両用ねじ推進ヘビ型ロボットの開発
 - 流体力を考慮したモデル構築
 - 水陸両用ねじ推進ユニットの開発
 - (c) ムカデ型ロボット
 - ムカデ型ロボットプロトタイプの開発
2. 極限ヒューマンインタフェースのための極限制御システムの開発
 - (a) 昆虫の採餌行動を基にした広域探査アルゴリズムの開発
 - 基本アルゴリズムの開発
 - (b) UGV との連携を考慮したテザー型 UAV の開発と UAV の操作インタフェースの開発
 - テザー型 UAV のハードウェアの基本構想設計と開発
 - UAV の過去画像履歴を用いた俯瞰映像の提示インタフェースの開発
 - (c) 脚ロボットのタフな制御系構築と操作インタフェースの開発
 - 過去画像履歴を用いた俯瞰映像の提示インタフェースの実現
 - (d) アバターを用いた異種ロボット群による作業のための遠隔操作インタフェースの開発
 - 手先位置入力による単体移動マニピュレータの自動制御法の構築
 - (e) 環境構築群ロボットの開発
 - ロボットが環境を改変するための適切な基材の検討
 - 基材を環境へ噴射する適切なロボットメカニズムの開発
 - 基材噴射メカニズムをロボットに搭載

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

1. タフな索状ロボットとタフな索状用コントローラの開発
 - (a) タフな索状用コントローラの設計と汎用ヘビ型ロボットの開発
 - ヘビ型ロボットの一連の動作をプログラムした. ImPACT TRC 屋内フィールドに設置された配管フィールドにて動作検証を行った. また, 2次元狭所環境への適応に関しては, 反射的な振る舞いのアルゴリズムを提案し, その挙動をシミュレーションにより確認した. 耐故障性および作業失敗の予防策に関しては, 通信システムにエラー情報を収集する機能を実装し, 故障検知の基本となるシステムを構築した. また, 通信システムに電流検知機能を実装し, 管内での作業失敗の予防の基本となるシステムを構築した.
 - (b) 水陸両用ねじ推進ヘビ型ロボットの開発

流体力を考慮したモデルを構築し、水陸両用ねじ推進ユニットの設計を行った。

(c) ムカデ型ロボットの開発

不整地走行、壁登坂、パイプ昇降の3つのタスクを想定し、それぞれのタスクに合わせたプロトタイプロボットの開発を行った。

2. 極限ヒューマンインタフェースのための極限制御システムの開発

(a) 昆虫の採餌行動を基にした広域探査アルゴリズムの開発

基本アルゴリズムの開発とシミュレーションによる検証を行った。

(b) UGV との連携を考慮したテザー型 UAV の開発と UAV の操作インタフェース

テザー給電ならびに UAV のハードウェアのプロトタイプを開発した。

(c) 脚ロボットのタフな制御系構築と操作インタフェースの開発

脚型ロボットに適した評価関数を導入し、過去画像履歴を用いた俯瞰映像の提示インタフェースを研究室内の脚ロボットに実装した。立体視可能なヘッドマウントディスプレイ、3次元深度センサ、ハプティックデバイスをインテグレーションし、視触覚融合提示デバイス（タンジブルユーザインタフェース）を開発した。その後、クローラ型ロボットを操作対象とし、フリック操作、搭載マニピュレータ操作、平地走行操作を実現した。

(d) アバターを用いた異種ロボット群による作業のための遠隔操作インタフェース

手先位置入力による単体移動マニピュレータの操作システムを構築した。また、平成28年度の目標である「VR空間へのアバター配置とHMDへの視覚提示」に関しても平成27年度中に前倒しで行った。

(e) 環境構築群ロボットの開発

環境構築基材として発泡ウレタンを選定し、ロボットから射出する機構を設計した。

2-2 成果

1. タフな索状ロボットとタフな索状用コントローラの開発

(a) タフな索状用コントローラの設計と汎用ヘビ型ロボットの開発

新たなヘビ型ロボットプラットフォームを開発し、その基本動作を確認した。さらに、ImPACT TRC 屋内フィールドに設置された配管フィールドにて動作検証を行った。螺旋捻転運動により曲管部を走破するための新たなアルゴリズムの開発とロボットへの実装を行い、ノーマルタイプのヘビ型ロボットを用いて配管の外周に沿っての移動を実現し、また、ハイパワータイプのヘビ型ロボットを用いて水平な状態の配管の内部を移動することを実現した。

能動車輪と受動車輪が混在する車輪型索状ロボットの2次元モデルを導出し、接地点変化を利用し移動障害物を回避する制御則を提案した。また、接地点変化を伴うシステムにおける特異姿勢の解析を行い、特異姿勢となる必要十分条件を明らかにした。さらに未知の段差を半自律的に踏破する制御則を提案し、実機実験で有効性を確認した。故障検知、作業失敗の予防、に関する検討の基本となる通信システムを構築した。

ロボットの異常検知・診断・復帰について、故障時の診断が必須となる状況を、制御PCにアクチュエータからの信号が返ってこない場合に限定し、その場合の故障を2通りに分類した。また、その分類のための手法について考察を行った。

(b) 水陸両用ねじ推進ヘビ型ロボットの開発

回流水槽実験に基づき流体力を考慮したモデルを構築した。水陸両用ねじ推進ユニットの設計を行っ

た。

(c) ムカデ型ロボットの開発

不整地走行では、柔軟な脚を用いることで、環境に受動的に適応し、10cm程度の凹凸の存在する環境を走破可能であることを確認した。パイプの昇降では、直径20cmから30cm程度の太さのパイプに巻き付き垂直なパイプを昇降可能であることを確認した。壁の登坂では、吸盤を用いることで表面が滑らかな壁に吸着し、垂直な壁面を走行可能であることを確認した。

2. 極限ヒューマンインタフェースのための極限制御システムの開発

(a) 昆虫の採餌行動を基にした広域探査アルゴリズムの開発

昆虫の採餌行動を基に基本アルゴリズムを開発し、シミュレーションにより、簡単な環境における有用性を確認した。

(b) UGVとの連携を考慮したテザー型UAVの開発とUAVの操作インタフェース

テザー給電する際にケーブル抵抗、電源電圧などより給電可能となる条件式とそのときの電源効率の関係式を導いた。テザー型UAVと協調を行うUGV間の距離が10m程度とすると、60V電源によりAWG28程度の十分に細く軽量のケーブルをテザーとして利用でき、UAVの飛行に与える影響を軽減できた。また、ARマーカーとIMUを複合するUAVの自己位置推定法を考案した。

(c) 脚ロボットのタフな制御系構築と操作インタフェースの開発

過去画像履歴を用いた俯瞰映像の提示インタフェースのROS実行環境への対応を行った。また、新しい評価関数の考案により、操作者は脚ロボットを各脚の状態を監視できる程度後方からロボットを俯瞰的に見ることができるようになり、脚ロボットを容易に遠隔操作できるようになった。

(d) アバターを用いた異種ロボット群による作業のための遠隔操作インタフェース

操作者の動作を反映させて動く仮想環境中の人型アバターの実装を行った。操作者は、移動マニピュレータの存在を意識せずに、あたかも自分自身が行っているかのように目的のタスクを実行することができる。

(e) 環境構築群ロボットの開発

発泡ウレタンは射出後に硬化するため既存のバルブではバルブ内硬化によりロボットが断続的に射出するには不相当であった。今回開発した回転バルブにより断続射出が可能になった。

2-3 新たな課題など

1. タフな索状ロボットとタフな索状用コントローラの開発

(a) タフな索状用コントローラ的设计と汎用ヘビ型ロボットの開発

ヘビ型ロボットが螺旋捻転運動で配管の外周を移動する際には、配管上の分岐を超えることができないため、そのための移動方策が今後の課題である。また、円柱の内部を移動する際に、曲管部を走破したあとの垂直な円柱を上るには至っていないので、これが今後の課題である。

ロボットの異常検知・診断・復帰について、現状では、故障の診断法について十分な検討・検証が行えていない。今後、診断を行うために適したテスト動作の提案、実機・シミュレーションを通じた検証を行う。また、故障の診断ができた後の復帰動作についても検討する必要がある。

(b) 水陸両用ねじ推進ヘビ型ロボットの開発

流体力を考慮したモデルに基づいた制御系設計とロボットへの実装は今後の課題である。

(c) ムカデ型ロボットの開発

信頼性を向上させるために、ゆっくりとした動作が必要となり、移動速度が極めて遅くなるという問題が確認された。今後は、歩行モードを見直し、信頼性を損なうことなく、移動速度を向上させる必要がある。

2. 極限ヒューマンインタフェースのための極限制御システムの開発

(a) 昆虫の採餌行動を基にした広域探査アルゴリズムの開発

より効率的な探査を実現するため、被災地の状況を基に探索アルゴリズムのパラメータをチューニングする必要があることが確認された。今後はGAなどの最適化アルゴリズムを組み合わせることで、パラメータの自動チューニングを行う予定である。

(b) UGV との連携を考慮したテザー型 UAV の開発と UAV の操作インタフェース

提案航法システムはAR マーカーを見失ったとき、位置推定精度が時間と共に急激に劣化する。これを防ぐために、モーションフィールドなど別の情報と複合化し、よりロバストな航法システムに発展させる必要があると考えられ、今後はこれにも取り組む。

(c) 脚ロボットのタフな制御系構築と操作インタフェースの開発

脚ロボット分科会で開発している ImPACT 脚ロボットに対するユーザインタフェースに提案手法を拡張する。過去画像履歴を用いた俯瞰映像提示インタフェース、タンジブルユーザインタフェースともに、ImPACT 脚ロボットのはしご昇降のための改良を行わなければならない。

(d) アバターを用いた異種ロボット群による作業のための遠隔操作インタフェース

単体の移動マニピュレータに対するシステムを異種ロボット群に適応可能なように拡張することが必要である。

(e) 環境構築群ロボットの開発

回転バルブの精度向上が必要である。

3. アウトリーチ活動報告

ロボットシステムの展示やデモンストレーションを実施した。特に、東京ビッグサイトで2015年8月27日、28日に開催された「イノベーション・ジャパン2015」において、タンジブルユーザインタフェースの展示・デモを行った。主催者側からの依頼によって、全出展中数点の馳前文部科学大臣の視察コースに組み入れられた。