

「先進的統合センシング技術」
平成 19 年度採択研究代表者

前田 太郎

大阪大学大学院情報科学研究科・教授

パラサイトヒューマンネットによる五感情報通信と環境センシング・行動誘導

1. 研究実施の概要

平成 20 年度はパラサイトヒューマン技術を本計画への適用するための要素技術研究とその評価研究，及び行動誘導研究について個人レベルと群レベルの双方についての理論研究と予備実験を中心に研究を進めた．このために本研究に用いる新型パラサイトヒューマン (PH) のプロトタイプの基本となる運動計測用零号機を試作し小型ロボットに対するレイグジスタンス感覚伝送に適用した．またこれと並行してプロトタイプ用の各要素デバイスの試作および関連技術を用いた行動誘導効果について各種の評価実験を行った．また，群誘導の理論モデル化のためにエージェントを用いた計算機シミュレータと群ロボットを開発し，実際の現象と計算モデルの整合を取るための方法論の検討を進めた．

2. 研究実施内容

平成 20 年度の研究実施にあたっては，チーム全体の研究のプラットフォームとなる第 1 期ネット対応型パラサイトヒューマンの設計・試作とその要素技術の機能的評価を中心として研究を進めた．前年度に検討を進めた必要スペックを元に，各構成要素のブラッシュアップと基本的な実験構成のための実装用設計と試作を行い，第 1 期プロトタイプを稼働させることとこれに用いる各種感覚提示デバイスの行動誘導効果の被験者実験による評価・改善を目標とした．また，群誘導については理論モデル化のためにエージェントを用いた計算機シミュレータと群ロボットを開発し，実際の現象と計算モデルの整合を取るための方法論の検討を進めた．

大阪大学グループでは本研究に用いる新型パラサイトヒューマン (PH) のプロトタイプの基本となる運動計測用零号機 (図 1) 及びプロトタイプ専用の各要素デバイスの試作と評価実験を行った．このための新規デバイスとしてHMDの



図 1 PH プロトタイプ零号機

安定的な固定と 4 極 3 自由度の GVS 電極を備えた頭部装着装置，運動計測データの高速転送用 F P G A ，実時間ビデオシスルー用 F P G A ，新型 4 自由度爪装着型振動子などの新型デバイスの開発と，これらの詳細設計を決めるための各種基礎実験を行った．これらの実験によって 4 極 3 自由度 GVS による起立姿勢誘導や頭部運動追従の特性改善（図 2），Pseudo-Haptics による上肢運動時の触錯覚の発生条件と上肢行動誘導のための誘導刺激提示手法の検証，爪上振動子によるなぞり触覚の伝送特性など，実際の設計応用に繋がるインタフェース評価知見が得られた．また，偏加速度提示による疑似牽引力提示手法について，NTT ではクランクスライダ方式の小型化・複式化による効果の研究を，大阪大学では回転カム式とインパクト式の 2 つの新方式による小型軽量化への試みを進めた．

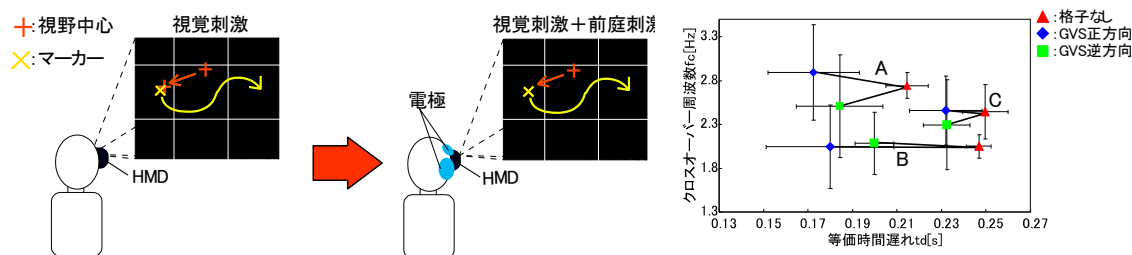


図 2 4 極 GVS による頭部追従運動の支援実験（左）とクロスオーバーモデルによる特性評価（右）

NTT グループでは，研究分担者であった安藤の阪大への移籍に伴って研究の実施と分担の計画について変更が行われた．新しく主たる研究分担者となった戸嶋は玉川大学グループと共に運動中の手先軌道の誘導可能性を評価した．雨宮は阪大グループと共に偏加速度型疑似牽引力提示手法について加速度波形に応じた牽引力錯覚の知覚特性の解析を詳細に進めた．

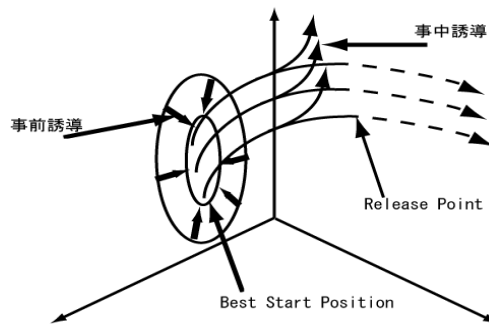


図 3 : ダーツ軌道の事前誘導と事中誘導

玉川大学グループでは，パラサイトヒューマンのアクチュエータの一つである，Galvanic Vestibular Stimulation（以下 GVS）を用い，運動中の手先軌道の誘導可能性を評価した．計測環境としてモーションキャプチャシステムを利用し，リーチング課題や円描画など基礎的運動から，ダーツの投擲までの幅広い手先運動，更には先行研究で評価が行われている歩行について詳細な計測を行った．平成 20 年度は，GVS を用いた反射的な事前及び事中誘導を実現するため，GVS の刺激タイミングと，ダーツ投擲と直接関係のある手先の誘導量を評価する実験を行った．図 3 はその誘導効果の得られ方に関して事前に想定した仮説の概念図である．現在，実験の結果については解析中であるが，リーチング及びタッピング等の単独の運動のみが起きる離散的な動作については，手先の左右方向の誘導を行うことには成功していない．一方で，円を描画するといった複数の運動要素が連続的に起きる動作については，目視ではあるが左右方向に誘導が観察されている（図 4）ため，現在統計処理によってその有意性の評価を行っている．また，歩行動作については，先行研究と同様左右方向の誘導が可能であり，新たに低速時及び高速時といった歩行周期の変化により，誘導量を変化させることが可能であるという

結果を得て(図 5), 歩行誘導のメカニズムを探りそれを効果的に利用する可能性について検討し, 学会にて発表した. これらの結果から, GVS などの行動誘導デバイスは「特定の瞬間」に働きかけることで効果を発揮するものと考えられ, 今後は実際の誘導場面をより具体的に想定した「特定の瞬間」を導き出すための人間行動理解の必要性が示唆された. また GVS の適用について前庭感覚を専門としている医師と相談し, 刺激時間や電流量についてのガイドラインを作成した. 今後は円描画課題時の手先の誘導についての統計解析を行うと共に, また本年度作成した GVS 適用のガイドラインに基づき, 試行数及び被験者数を増大することで個人差の問題を解消し, 一般性のある刺激タイミングと誘導量の計算モデルを構築することを目指す. また, 21 年度は行動誘導の具体的な応用場面を定めた誘導方式の検討のため, 駅や避難訓練など集団の移動やすれ違いが起こる場所での誘導を行い, そのような行動のモデル化や誘導手法の考案に力を注ぐ.

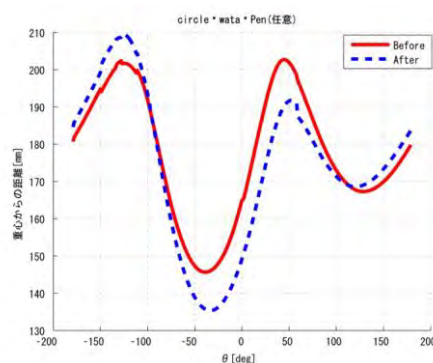


図 4: 円描画時における刺激開始前後の円の重心からの距離

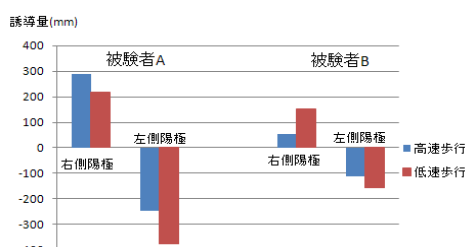


図 5: 歩行時における刺激提示 2 秒後の左右方向の誘導量

東工大グループでは本年度は以下のように研究を進めた.

(1) 場を用いた群の連続体モデルとこれに基づく混雑緩和のためのアメニティ設計の研究

避難時における人の行動はばらつきが多く, これら全てをモデル化し統合した群として扱うには複雑すぎる. そこで, 群の行動の流れの様子を場としてモデル化し, さらに, 群を連続体として表現することで, それらのマクロな挙動を取り扱う方法を提案した. ここでは, 連続体の連続の式(質量保存則)に基づいて空間の密度を求め, 混雑度合いを評価した. また, この混雑度合いに基づいて, 流れを妨げるような場を追加することで密度を平均化させ, 混雑を感じさせない快適空間(アメニティ)の設計法を提案した.

(2) 群の挙動解析・制御を検証するための群ロボット開発

提案する群の挙動解析, 制御手法は場にも基づいており, それらの実現可能性を検証する必要がある. 特に, 上記で提案した流れを妨げる場は, 実際にはポールを立てるなど, 障害物を設置することを想定しているが, これらの効果と想定した効果の一致性を検証する必要がある. 本研究では, 自律的なロボット群として, (a) 平面内の絶対位置を計測可能, (b) 無線 LAN によってホスト PC と通信する, (c) 自律的に位置と姿勢制御を行うロボット群を設計・試作した.

(3) 場を定義するコントローラのパラメタライズとこれを用いたロボット制御

群の挙動を定める流れ場は挙動ごとに設計されるが, 群の制御を行うためには, 場をリアルタイムに変化させなければならない. このためには, 場を定義しているパラメータから共通要素を抽出し, それらの組み合わせによって新たな場を定義する, あるいは補間する方法が有効である. 本研究では, ロボットを場に従って安定化させるコントローラから共通要素を抽出し, それらの組み合わせによって新たなコントローラを結合設計する方法を提案した.

産業技術総合研究所グループでは本年度は以下のように研究を進めた。

(1) パラサイトヒューマン装着者の行動モデル獲得に関する研究

本年度は、PH 装着者の運動学的なパラメータの推定に基づいて、行動・運動推定のための正規化処理を行い、また、専門家(操縦者)とPH 装着者(被操縦者)の間で情報提示系を適切に調整する手法の開発を行った。専門家(操縦者)によるPH 装着者(被操縦者)の行動誘導(操縦)は、PH のHMDに取り付けたカメラからの画像に専門家の身体の画像をスーパーインポーズし、その画像をPH 装着者と専門家に提示し、PH 装着者が、出来る限り専門家の動作に追従することによって行われる。しかしながら、PH 装着者の不意の動作や頭部の不意の動きによって、専門家の見ている画像が揺れ、不快感をもたらす可能性がある。それを防ぐために、PH システムの姿勢センサと画像のオプティカルフロー情報を利用したカメラの運動推定による、画像安定化システムを開発した。図6に、その情報処理と安定化の結果を示す。さらに、装着者の行動モデル獲得手法の研究を開始し、複数の動作認識手法のテストを行った。

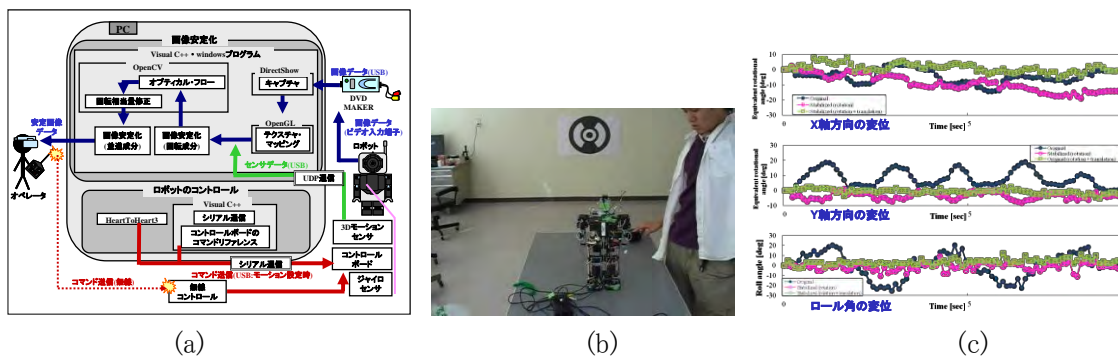


図6 画像安定化システム:(a) 画像安定化システムの構成, (b) 小型ロボットによる実験の様子, (c) 画像安定化の実験結果の一例(水平、垂直方向の並進、垂直軸回りの回転が補償され、画像の安定化が達成されている。)

(2) パラサイトヒューマン装着者による人の誘導に関する研究

本年度は、災害時の人の避難を想定したエージェントベースのシミュレータのプロトタイプを開発し、様々な条件下で避難の状況の評価を行った。ブリッジ現象と呼ばれる、群衆が狭い出口に殺到して、身動きが取れなくなっている状態等がシミュレータで再現可能であることを確認した。狭いが分かりやすい場所にある出口と広いが分かり難い場所にある出口が存在する時、分かり難い出口をパラサイトヒューマン装着者に指示することにより、避難時間が大きく短縮される場合があることが判明し、パラサイトヒューマンによる人の行動誘導の有効性を示すことができた。図7にシミュレーションの例を示す。さらに、パラサイトヒューマン装着者による人の避難誘導経路の提示手法の研究を開始した。

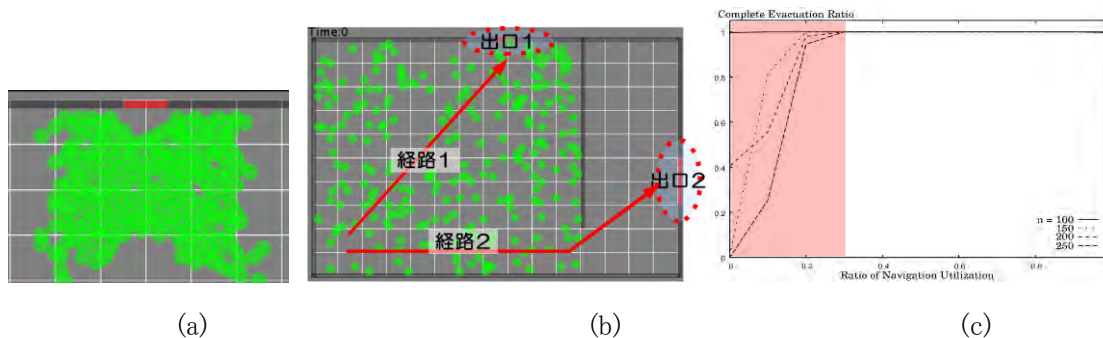


図7 幾つかのシミュレーションの例:(a) ブリッジ現象の再現の様子, (b) シミュレーション環境の一例, (c) (b)の環境下でのシミュレーション結果(PH 装着者の割合と一定時刻内で脱出に成功する人の割合。およそ3割以上のPH 装着者が存在すれば、全員が一定時刻内で脱出可能。)

また、これも前年より継続して総括としての阪大グループを中心に各研究グループと協力して実証的な研究の推進と並行して全体計画推進上の応用例調査と対応する研究フォーカスの設定および对外発表の計画を進める。安心安全の実現化のために救急救命や緊急避難に関する技術的な要求の調査研究を継続すると同時に、特に本年度は次年度の中間報告に向けて研究チームの研究目標の具体化と実現のために典型的な検証すべき状況と要求の具体的な数値化をはかる。救急救命や緊急避難などの安心安全に関わる現場や専門家との密接な情報交換の為に複数回のシンポジウム等の開催を計画する。

3. 研究実施体制

(1)「大阪大学」グループ

①研究分担グループ長:前田 太郎(大阪大学大学院 教授)

②研究項目

- (1) 全体総括
- (2) PHによる感覚伝送の各要素技術の開発と改良
- (3) 感覚伝送のための心理物理的要素実験
- (4) 社会システムへの適用のための研究調査

(2)「NTT コミュニケーション科学基礎研究所」グループ

①研究分担グループ長:戸嶋 巖樹(日本電信電話(株) 社員)

②研究項目

共通プラットフォームとしての次世代 PH の装置開発

(3)「玉川大学」グループ

①研究分担グループ長:大森 隆司(玉川大学 主任・教授)

②研究項目

- (1) 行動データからのモデルベース行動分節化手法の開発

(2) 人間の記憶と逐次思考・行動プランニング過程の順モデル構築

(4)「東工大」グループ

①研究分担グループ長:岡田 昌史(東京工業大学大学院 准教授)

②研究項目

- (a) 場を用いた群の連続体モデルとこれに基づく混雑緩和のためのアメニティ設計
- (b) 群の挙動解析・制御を検証するための群ロボット開発
- (c) 場を定義するコントローラのパラメタライズとこれを用いたロボット制御

(5)「産総研」グループ

①研究分担グループ長:大山 英明((独)産業技術総合研究所 主任研究員)

②研究項目

パラサイトヒューマン装着者の行動モデル獲得ならびにパラサイトヒューマン装着者による人の誘導に関する研究

- ・パラサイトヒューマン装着者のセンサデータ正規化手法の開発
- ・行動モデル検証のためのマスター・スレーブ方式ロボットシステムの構築
- ・行動モデルの開発
- ・災害時の避難シミュレータの開発
- ・パラサイトヒューマン装着者による人の避難誘導手法の開発

4. 研究成果の発表等

(1) 論文発表 (原著論文)

1. Tomohiro Amemiya, Taro Maeda : Asymmetric Oscillation Distorts the Perceived Heaviness of Handheld Objects, *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 1, No. 1, pp. 9-18, Jan-Jun, 2008.
2. 雨宮智浩, 前田太郎:非対称振動を伴う物体の挙錘により生成される重量錯覚, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 13, No. 1, pp. 59-68, 2008.
3. Tomohiro Amemiya, Taro Maeda, Hideyuki Ando : Location-free Haptic Interaction for Large-Area Social Applications, *Personal and Ubiquitous Computing*, Springer, March 2008. (online first)
4. 安藤英由樹, 渡邊淳司, 雨宮智浩, 前田太郎:力触覚における錯覚とその応用, 計測と制御, Vol. 47, No. 7, pp.582-586. July 2008.
5. Tomohiro Amemiya, Hideyuki Ando, Taro Maeda : Lead-Me Interface for a Pulling Sensation from Hand-held Devices, *ACM Transactions on Applied Perception*, Vol. 5, No. 3, Article 15, August 2008.
6. 雨宮智浩, 前田太郎:錯覚を利用した牽引力感覚提示装置の小型軽量化とその効果, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.10, No.4, pp.125-134, 2008.
7. Tomohiro Amemiya, Taro Maeda : Directional Force Sensation by Asymmetric Oscillation

from a Double-layer Slider-crank Mechanism, *Transactions of the ASME Journal of Computing and Information Science in Engineering*, Vol. 9, No. 1, 2009. (in appear)

(2) 特許出願

平成 20 年度 国内特許出願件数 : 0 件 (CREST 研究期間累積件数 : 0 件)